Reuleaux

Kurzgefaßte Geschichte

der

Dampfmaschine

Kurzgefaßte Geschichte

der

Dampfmaschine

Von

F. Reuleaux

Professor

Mit 18 in den Text eingedruckten Holzstichen

Braunschweig

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn

1891

Sonder-Abdruck

aus

Scholls „Führer des Maschinisten“

elfte Auflage

Vorwort

Die Dampfmaschine hat so wesentlich zur heutigen Lebensgestaltung bei den gesitteten Völkern mitgewirkt, daß die Kenntnis ihrer Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte für die weitesten Kreise von Wert ist. Früher hat man, ähnlich wie bei andern Hilfsmitteln, die der Mensch sich aus kleinen Anfängen heraufgebildet, wie bei den Waffen, dem Wohnhaus, den Fahrzeugen, geglaubt, in den frühesten Zeiten nach den Keimen und Wurzeln, aus welchen sie emporgediehen, suchen zu müssen. Dieses Verfahren führt aber hier nicht zum Ziel; die Dampfmaschine ist ein Erzeugnis desjenigen Geschichtsabschnittes, den wir die neuere Zeit zu nennen gewohnt sind; sie bildete sich und konnte erst entstehen mit der neueren Mechanik, etwa mit dem beginnenden siebzehnten Jahrhundert. In dem ersten Abschnitte der nachfolgenden Darstellung habe ich die früher dafür gehaltenen Vorstufen oder Entwicklungsformen besprochen. Sie führen nicht zu der Erfindung hin. Anderthalb Jahrtausende hindurch stehen sie ohne wesentliche Weiterbildung da; sie laufen fast völlig stumpf aus. Es ist künstlich, an sie anzuschließen, was die neuere Mechanik aus sich heraus schuf, ohne die Vorausgänge zu benutzen. Die Schilderung der letzteren dient deshalb hier kaum zu etwas Anderem, als zu zeigen, daß die Entwicklung aus denselben nur vermeintlich stattgefunden hat.

Im zweiten Abschnitte ist dargelegt, wie aus den, durch die werdende Wissenschaft von den Gesetzen der Kräftewirkungen

in dem Gähren und Treiben der sich bildenden Gedankenreihen die neue Maschine aufsproß, wie unter dem Schutze eines kunst- und wissenssinnigen deutschen Fürsten im Herzen Deutschlands der begabte Franzose Papin, auf seine Vorgänger im siebzehnten Jahrhundert gestützt, den neuen Gedanken aus der Fülle der sich klärenden Erkenntnisse herauslöste und in bestimmte Form brachte. Diese letztere war noch sehr unvollkommen, enthielt aber das Neue. Es ist dann gezeigt und zugleich begrifflich ausgesondert, wie in England Papins Gedanke durchgeführt und namentlich durch Watt zu einer ersten und zwar schon großartigen Entwicklung gebracht worden ist, was bis zum Ende des achtzehnten Jahrhunderts völlig gelang.

Der dritte Abschnitt erläutert die Übergänge und Weitergestaltungen der Maschine bis zu den heutigen Formen, der vierte in einem Überblick die Leistungen und die Stellung derselben in unserm jetzigen thätigen Leben als eines unentbehrlichen, machtvollen Gliedes in der Kette von Äußerungen des schaffenden Menschengeistes, die das gesittete Menschengeschlecht auf unsere Lebensformen gebracht haben.

Der Umstand, daß die vorliegende Schrift als Anhang eines für den praktischen Maschinendienst bestimmten Buches abgefaßt ist, beschränkte den verfügbaren Raum. Immerhin schien es aber möglich, auch ohne in Einzelheiten so weit eingehen zu können, wie der eigentliche Techniker wohl wünschen dürfte, die Hauptpunkte so weit hervorzuheben, als es die Bedeutung des Gegenstandes auch für größere Leserkreise erforderte.

Berlin, im Oktober 1891

F. Reuleaux

Kurzgefaßte Geschichte der Dampfmaschine

I. Vorgeschichte

Die Geschichte der Dampfmaschine ist in den letzten Jahrzehnten mehrfach zum Gegenstand eingehender Untersuchungen gemacht worden. Sorgfältige Arbeiten haben die Anschauungen über den Gegenstand wesentlich bereichert und geläutert, so daß man jetzt imstande ist, sich ein klares Bild von der Entstehung und Entwicklung der Maschine zu machen, welche so wesentlich dazu beigetragen hat, den Stand der heutigen Kultur herbeizuführen. Den Maschinentechniker, der seine Thätigkeit so vielfach von der Dampfmaschine abhängig und um deren fernere Ausbildung herum geordnet sieht, muß vor vielen Andern ihre Geschichte und deren neuester Standpunkt lebhaft anziehen.

Freilich haben die letzten Jahrzehnte neben der Dampfmaschine mehrere andere Kraftmaschinen entstehen lassen, unter welchen namentlich die Gaskraftmaschine sich zu hoher Bedeutung emporgeschwungen und die Dampfmaschine namentlich im Kleingewerbe ersetzt oder verdrängt hat. Anderseits ist inzwischen die Dampfmaschine auch bedeutend gewachsen, vor allem als Kraftspender für die Schiffe, so daß ihre Anwendung sich, dem Wettbewerb der andern Kraftmaschinen zum Trotz, höchst großartig gesteigert hat; damit hat aber die Frage nach ihrer geschichtlichen Entwicklung an Wichtigkeit und Wert nur zugenommen.

Der Keim, aus dessen Entfaltung man von vornherein gern geneigt ist, die Erfindung der Dampfmaschine abzuleiten, ist die

Erfahrung von dem Kraftvermögen des Wasserdampfes, das schon in kleinem Maßstabe leicht bemerklich, unter gar nicht ungewöhnlichen Umständen aber sehr auffallend sein kann. Man darf sagen, daß diese Erfahrung beinahe so alt wie die Menschheit ist; denn die Kraftäußerungen des Wasserdampfes müssen notwendig schon früh aufgefallen sein, da sie stets im täglichen Leben vorkommen; sie mußten von dem ersten bemerkt werden, der seinen Wassertopf am Feuer überkochen sah, und werden tagtäglich in ähnlicher Weise aufs neue gefunden. Sie bedurften mit andern Worten keines besondern Entdeckers und mußten sehr früh zu mancherlei, wenn auch unbedeutenden Verwendungen der Dampfkraft hinleiten. Trotzdem kann der Kenntnis von der dem Dampf innewohnenden Kraft nur ein kleiner Anteil an der Erfindung der Dampfmaschine eingeräumt werden. Daß diese vielmehr von ganz andern Anfängen ausging, daß die allgemeine Strömung des Denkens dem gegebenen natürlichen Wege einen künstlichen vorzog, wie weiter unten gezeigt werden wird, ist vielleicht keiner der unwichtigsten Belege für die eigentümliche, nicht voraus zu berechnende Art, in welcher der Menschengeist seine Schritte zu großen Zielen wählt.

Von den Anwendungen der Spannkraft des Wasserdampfes, die man in ältester und alter Zeit, lange vor der Erfindung der Dampfmaschine machte, mögen die wichtigsten beurkundeten hier angeführt werden. Der älteste Gelehrte, welchem eine Anwendung der Dampfkraft zugeschrieben wird, ist Archimedes (288 bis 212 v. Chr.). Seine Erfindung soll nichts Geringeres gewesen sein, als eine Dampfkanone, der „Erzdonnerer“, wie uns Leonardo da Vinci berichtet, indem er den Gedanken des Archimedes (wahrscheinlich nach einer uns verloren gegangenen arabischen Wiedergabe einer Schrift des alten Meisters) wieder auffrischt. Der Erzdonnerer sei bestimmt gewesen, eine Kugel aus einem kurzen Rohr mit rinnenförmiger Verlängerung zu schleudern, wenn man aus einem stark erhitzten Wassergefäß Dampf in das Rohr und gegen die Kugel strömen gelassen. Archimeds Kanone ist indessen wahrscheinlich weder zu seiner, noch zu Leonardos Zeiten wirklich angewandt worden, indem Nachrichten darüber durchaus mangeln; indessen darf man nichtsdestoweniger kaum zweifeln, daß die Alten ähnliche Dinge, obwohl in kleinem

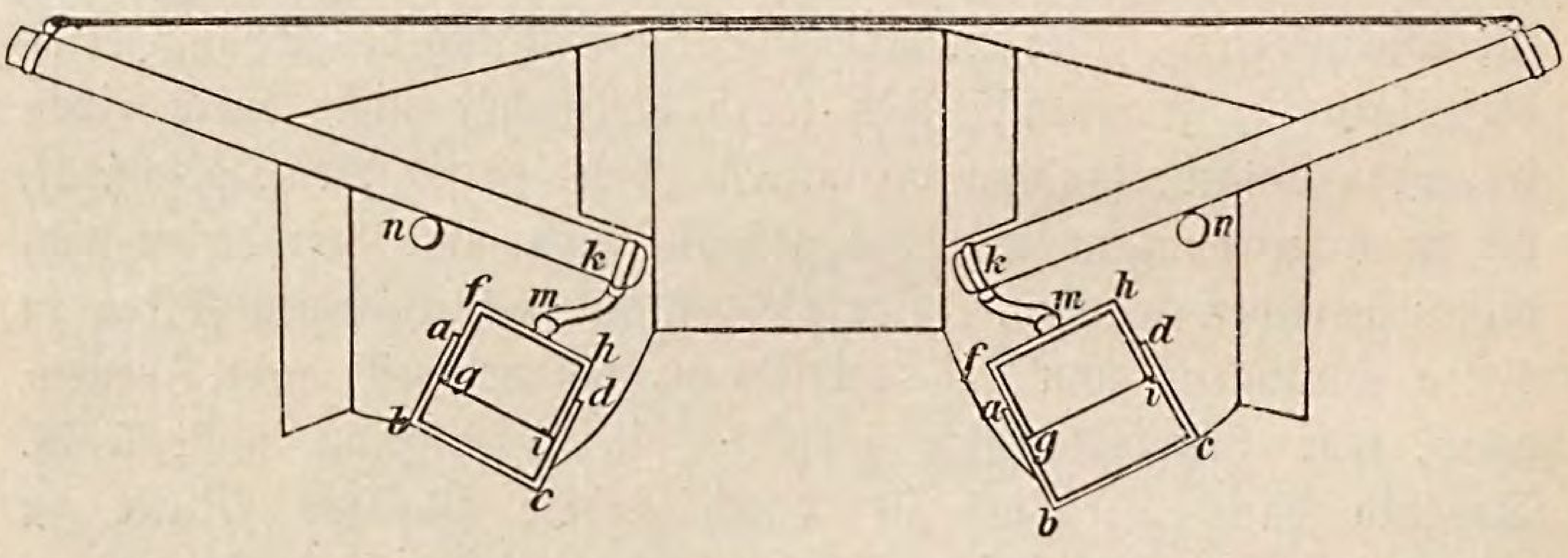
Maßstabe, zur Ausführung gebracht. Jedenfalls war ihnen der Gedanke dazu nicht ganz fremd. So berichtet z. B. auch Philon von Byzanz (um 150 v. Chr.), daß Ktesibios von Alexandrien (im 2. Jahrh. v. Chr.) die Verwendung zusammengepreßter Luft in Cylindern mit Kolben zum Fortschleudern von Wurfgeschossen aus einem Geschütz, dem Luftspanner, vorgeschlagen, ja auch ausgeführt habe. Da Klarheit der Vorstellungen für unsere Aufgaben von der größten Wichtigkeit ist, man aber aus der bloßen Anführung von der Erfindung sich gar keine zutreffende Vorstellung von derselben bilden kann, gehe ich etwas näher auf sie ein.

Schon seit 400 v. Chr. hatte sich bei den Alten, vor allem den Griechen, das Geschützwesen entwickelt; es erreichte zu der Zeit des erwähnten Philon seine größte Blüte teils für Pfeilgeschütze, teils für Steinwerfer. Ihre Bauart ähnelte hinsichtlich des Spannwerkes derjenigen der Armbrust; doch ward die Sehne nicht durch einen federnden Bügel, sondern vermittelst zweier steifen Arme geschnellt, die durch gewrungene Stränge gesteckt waren und von diesen nach außen getrieben wurden. Der Bedarf an spannkräftigen Fäden zu diesen Strängen, zum Teil Tiersehnen, vorzugsweise aber Frauenhaar, war außerordentlich groß*), die Beschaffung nicht leicht. Deshalb hatte Ktesibios sie durch andere federnde Mittel zu ersetzen gesucht, nämlich sowohl durch gehämmerte, eherne Federn — wonach das Geschütz Erzspanner genannt wurde — als auch durch zusammengepreßte Luft. Von beiden Bauarten giebt uns Philon die genaue Beschreibung. Das Spannwerk des Luftspanners, der ein Steinwerfer war, stellt umstehende Fig. 1 dar, und zwar mit der umständlichen Buchstabenbezeichnung Philons. Man hat sich die Arme mit den Achsen *n* fest verbunden vorzustellen. Beim Anziehen der Sehne wurden die Kolben *f g h i* in die Stiefel *a b c d*

*) 250 v. Chr. schafften z. B. die Rhodier einmal für die Bewohner von Sinope 300 Talente verarbeiteten Frauenhaars und 100 Talente (zu rund 26 *kg*) verarbeiteter Sehnen, alles für Spannstränge, herbei. Scipio fand in Neukarthago 210 v. Chr. 476 Stück schweres Geschütz, daneben eine ungeheure Menge größerer und kleinerer Standbogen vor, und 148 v. Chr. lieferten die Karthager den Römern wieder gegen 3000 Geschütze aus.

hineingedrängt, wobei sie die eingeschlossene Luft zusammenpreßten, die dann beim Auslösen der festgehakten Sehne die Arme in die hier gezeichnete Stellung zurückschnellten. Die Stiefel wurden sehr genau und glatt aus-, die Kolben ebenso abgedreht; als Dichtungsmittel diente Tischlerleim, den man wahrscheinlich durch irgend einen Zusatz, vielleicht Salz, zu „flüssigem Leim" gemacht hatte. Die Dichtigkeit wurde geprüft. „Ktesibios benetzte nämlich", schreibt Philon, „das Gefäß mit Tischlerleim*), setzte einen Vorhalter auf den Knopf und trieb mittelst Keil und Hammer mit größter Gewalt die Trommel ein. Man konnte aber sehen, daß die Trommel (der Kolben) nur wenig nachgab, wenn aber einmal die drinnen eingeschlossene Luft

Fig. 1



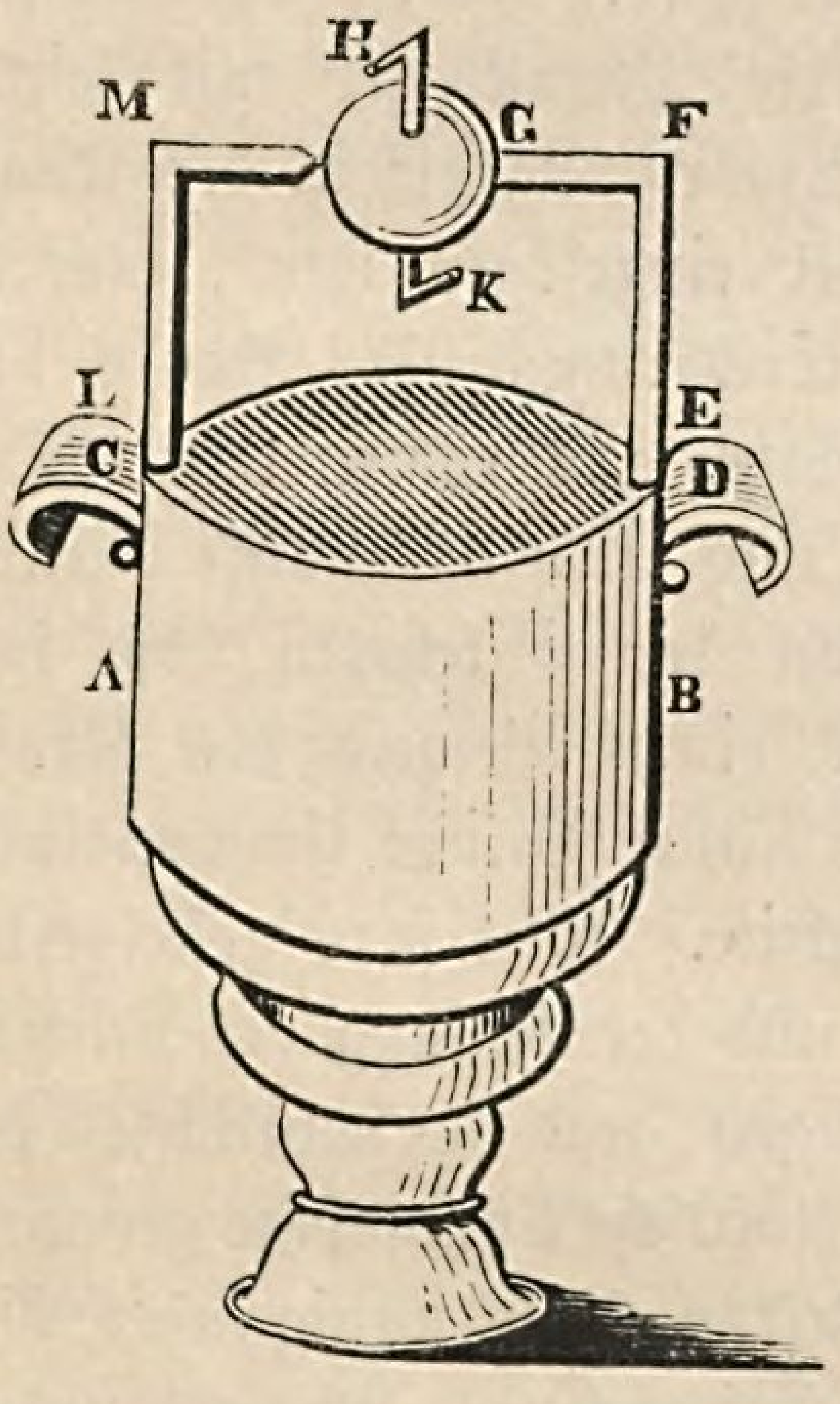
sich verdichtet hatte, auch beim stärksten Schlag auf den Keil nicht weiter hineinging, und, wenn man Gewalt anwandte, so wurde nicht nur der Keil herausgetrieben, sondern auch die Trommel sprang mit großer Gewalt aus dem Gefäße heraus; oft fuhr auch Feuer mit heraus, indem wegen der Schnelligkeit der Bewegung die Luft an dem Gefäße sich rieb." Wir sehen, daß Ktesibios hier die Beobachtung von der Erhitzung der Luft gemacht, die wir vom Luftdruckfeuerzeug her kennen. Der Kolben muß als zweckmäßig gebaut bezeichnet werden, da er vermöge seiner Rohrform der kleinen Ausdehnung durch den Luftdruck ebenso nachgeben konnte, wie der Stiefel. Bei 26 *cm* Kolbendurchmesser und Zusammendrückung der Luft auf $1/2$ ergiebt sich der Luftüberdruck für jeden Kolben zu etwa 500 *kg*.

---

*) Ausdrücklich ist Tischlerleim erwähnt (Kolleterion teknikon).

Davon, daß die Alten von der Spann- und Bewegungskraft der Luft und auch des Wasserdampfes einige Erkenntnis gewonnen, zeugen drei erhaltene Bücher Herons von Alexandrien (um 120 v. Chr.), eines Schülers des Ktesibios, „von dem Luftigen“ handelnd, in welchen neben andern Vorrichtungen auch mehrere solche behandelt werden, welche die Dampfkraft zur Bewegung von Körpern benutzen. Es sind dies dieselben Bücher, durch welche der wohlbekannte Heronsbrunnen und verwandte, von Heron erfundene oder zum Teil auch nur gesammelte Vorrichtungen auf uns gekommen sind. Unter anderm wird darin beschrieben: eine „tanzende Kugel“, welche durch den in einem Wasserkessel entwickelten Dampf aus dem becherförmigen Ende eines Rohres in die Höhe geworfen und in eine tänzelnde Bewegung versetzt wird; ferner verschiedene mechanische Figurenwerke, in welchen erhitzte Luft und Dampf Bewegungen hervorbrachten; sodann auch die bekannt gewordene Drehkugel, welche die nebenstehende Fig. 2 vorführt. Die Kugel ist zum Teil mit Wasser gefüllt und wird durch die Rückwirkung des aus den beiden abgekröpften Mündungen ausströmenden Dampfes umgetrieben. Endlich verdient noch eine vierte Vorrichtung einer besondern Erwähnung. In derselben steht ein Erzfigürchen neben einem Altar, und gießt, wenn man die Opferflamme auf letzterem anzündet, Wasser aus einem steif festgehaltenen Kruge in eine auf dem Altarrande stehende Schale. Die Flamme erwärmt nämlich den hohlen, zum Teil mit Wasser gefüllten Altar, worauf die sich ausdehnende Luft, gemischt mit Wasserdampf, das Wasser durch eine Röhre, die in den erwähnten Krug mündet, in die Höhe treibt.

Fig. 2



Die sämtlichen Heronschen Dampfvorrichtungen tragen unverkennbar das Wesen der Spielerei, der Tausendkünstelei an sich, beweisen indessen nichtsdestoweniger die Landläufigkeit der in ihnen

verkörperten Begriffe. Zugleich aber wird uns in ihrer Beschreibung die ungleich wichtigere Thatsache bestätigt, daß die Alten die Natur des Wasserdampfes nicht richtig erkannten. Sie hielten denselben für Luft, welche „durch Feuer aus Wasser erzeugt“ zu der „nächstobersten Stellung unter den vier Elementen aufstrebe“ und dieses um so heftiger thue, je stärker das die Verwandlung herbeiführende dritte Element einwirke. Befangen in dieser Anschauung, welche in der alten Philosophie vollständig und allseitig ausgebildet war, wurde es der vergangenen Zeit unmöglich, in Benutzung der Dampfkraft über die nächstliegenden Anfänge hinauszukommen.

Ein mit der Heronschen Drehkugel in der Form verwandtes Gerät ist der von Vitruv (um Chr. Geb.) zuerst beschriebene Äolusball oder die Äolipile, eine hohle Metallkugel mit feiner Öffnung, durch welche, nachdem durch Erwärmung die in der Kugel enthaltene Luft verdünnt worden, Wasser eingesogen wird, worauf dann dieselbe Öffnung bei erneuerter Erwärmung des Balles den entwickelten Dampf unter starkem Ausblasen ausströmen läßt. Der Äolusball vererbte sich auf die Folgezeit und blieb das ganze Mittelalter hindurch ein beliebtes Kabinetstück der Gelehrten, die sein stundenlanges Blasen mit Vorliebe als einen Beweis des Kraftaufwandes betrachteten, mit welchem die Natur jegliche Umwandlung des einen Elementes in ein anderes begleite. Mit stets gesteigerter Zähigkeit schlossen sich das Mittelalter und der Anfang der neueren Zeit an die philosophischen Auffassungen und Erkenntnisse der Griechen, später die schulmäßige oder scholastische Philosophie genannt, an. Wir sehen daher auch in dieser Zeit äußerst wenig neue Gedanken in betreff der Dampfbenutzung auftauchen. Abwandlungen der Äolipile finden sich mannigfach, so bei Cardanus (1557), der sie geschickter zum Ansaugen und Ausblasen einzurichten suchte, und bei Philibert Delorme (1567), der sie als Mittel, das Rauchen der Schornsteine zu vermeiden, vorschlug usf. Vereinzelte Bestrebungen, dem eigentlichen Vorgang der Verdampfung etwas näher zu kommen, lassen sich indessen auch bemerken, so bei Jac. Besson (1569) und bei Joh. Bapt. Porta (1601), welche in ihren Schriften Verfahrungsweisen zur Bestimmung des sog. Dampfgewichtes angeben.

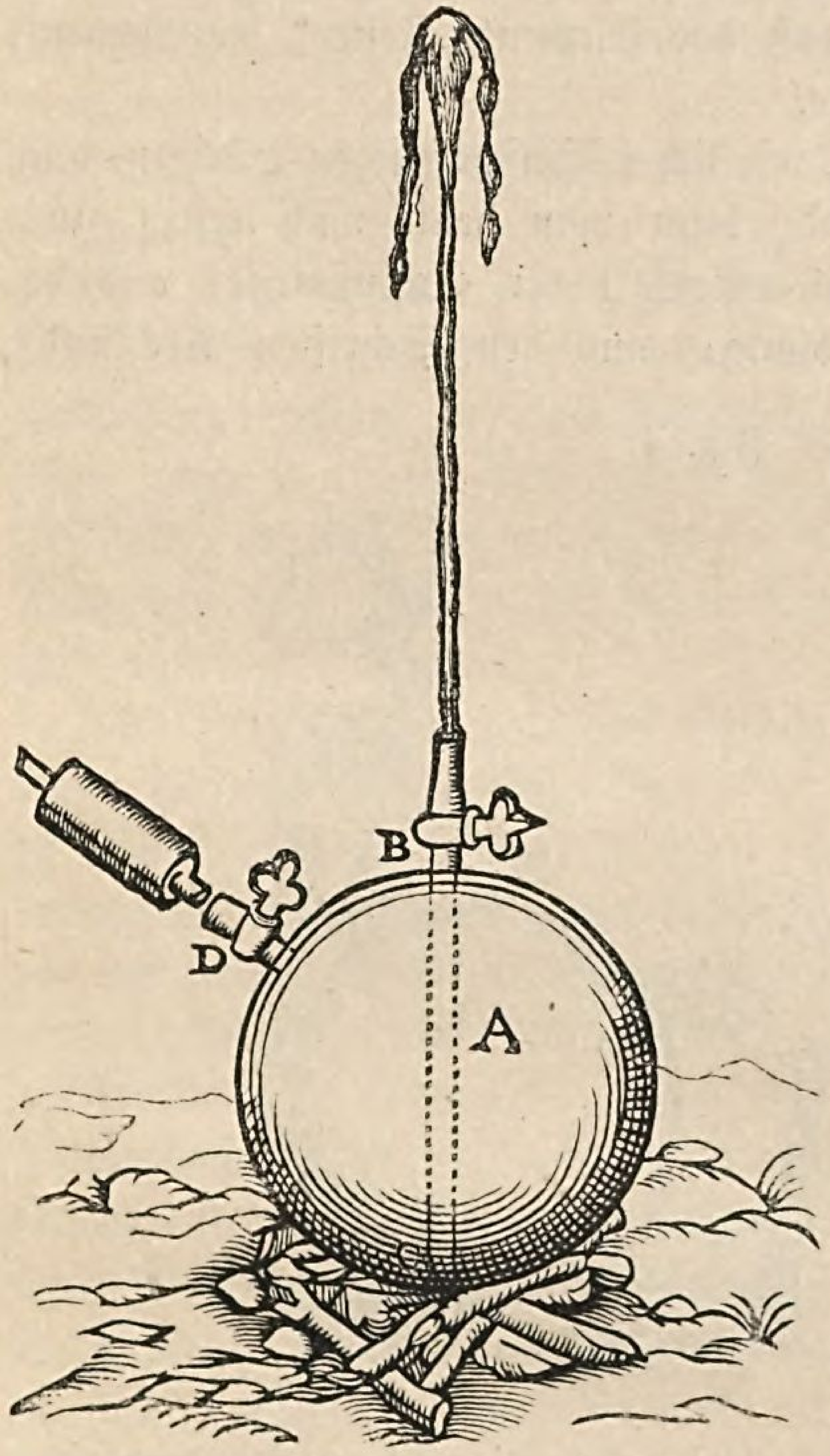
Im 17. Jahrhundert, auf dessen Beginn wir nachher zurückkommen müssen, pflanzten sich die bis dahin geltenden Anschauungen noch lange fort. Unter den Männern, welche hier zu nennen wären, muß einer deshalb hervorgehoben werden, weil sich seinem Namen ein großer geschichtlicher Irrtum angeheftet hat, es ist Salomon de Caus. Ihm wurde zuerst von Bailles im Journ. des mines 1813, und dann von Arago im Annuaire du bur. des longitudes 1828 die Ehre der Erfindung der Dampfmaschine zugeschrieben, welchem Urteil sich auch das große Publikum zuwandte, als im Jahre 1834 im Musée des familles ein angeblich aufgefundener Brief von Marion Delorme an den Marquis von Cinq-Mars, vom 17. Februar 1641, veröffentlicht wurde, aus dem hervorging, daß de Caus als Märtyrer seiner für Tollheiten erklärten Anschauungen über die Dampfmaschine von Richelieu in das Irrenhaus Bicêtre eingekerkert worden sei. Die ganze gebildete Welt erfuhr mit Teilnahme für den unglücklichen Erfinder und mit Entrüstung über den Undank seiner Zeitgenossen diese Vorgänge, in welchen auf so schreiende Weise eine Schattenseite der verflossenen Jahrhunderte, Verkennung ihrer großen Geister, aufgedeckt wurde. Unsere Zeit suchte den angeblich grausam Verkannten wieder zu Ehren zu bringen: die Wissenschaft stempelte ihn zum Erfinder, die Kunst verherrlichte ihn aufs ergreifendste in Bild und Roman, und vor einigen Jahren auch auf der Bühne, die in Brachvogels „Mondecaus“ das ihrige dazu beitrug, dem unglücklichen Opfer einer verblendeten Zeitrichtung im Tode die gebührende Anerkennung zu verschaffen. — Leider aber, leider hat sich bei kühler Prüfung der geschichtlichen Thatsachen herausgestellt, daß die massenhaft aufgewandte Rührung verschwendet, daß S. de Caus kein Märtyrer, daß der erschütternde Brief Marions nichts anderes war, als eine im richtigen Augenblick aufgelassene Zeitungsente.

Salomon de Caus, gegen 1576 in Dieppe in der Normandie geboren, war Architekt und als solcher nach der Sitte der damaligen Zeit in allen freien Künsten bewandert; auf seiner Reise durch England kam er an den Hof des Prinzen von Wales und wurde von diesem als Zeichenmeister für die Prinzessin Elisabeth angestellt. Als letztere im Jahre 1615 sich mit dem Kurfürsten Friedrich V.

von der Pfalz vermählte, wurde de Caus mit in die neue Residenz Heidelberg genommen, wo er beauftragt wurde, den Schloßgarten zu vergrößern und dem damaligen neuen Geschmack gemäß umzugestalten. Er entledigte sich seines Auftrages aufs beste, verzierte und vergrößerte die Gartenanlagen aufs mannigfaltigste und wurde hierbei u. a. auch der Erbauer der jetzt noch weithin sichtbaren Terrasse am nordöstlichen Ende des Gartens. Gegen 1619, also bald nach Beginn des dreißigjährigen Krieges, kehrte de Caus in seine Heimat zurück, wo er im Jahre 1626 starb, und zwar, soviel man weiß, unter keineswegs ungewöhnlichen Umständen. Schon an letzterer Jahreszahl ist die Unechtheit des angeblich 1641 geschriebenen Marionschen Briefes zu erkennen, welche aber vollends entlarvt dasteht, wenn man noch erfährt, daß das Bicêtre im Jahre 1641 nicht etwa eine Irrenanstalt, sondern eine Komthurei des heiligen Ludwig war, in der man alten Militärpersonen Unterkunft gab. In einem schon in Heidelberg von de Caus 1615 herausgegebenen, in Frankfurt zuerst erschienenen Buche: „Les raisons des forces mouvantes“ ist es, worin Bailles und Arago die Gründe finden, ihm die Erfindung der Dampfmaschine zuzuschreiben. Der Titel des Buches ist großartig, so großartig, daß ihn ein Humboldt in unserer Zeit nicht gewagt haben würde, der Inhalt dagegen giebt nicht das mindeste Recht zu einer besonderen Auszeichnung seines Verfassers. Das Buch behandelt Physik und Mechanik im Sinne einer ersterbenden Zeit, stumpf und breit, mit selbstgefälliger Weitschweifigkeit, was hier um so bemerkenswerter ist, als damals in Italien schon das reine Feuer der neuen mechanischen Wissenschaft durch Galilei entzündet worden, als in Deutschland Mathematik und Naturwissenschaften in lebhaft aufstrebender Bewegung waren, als in Prag Keplers heller Geist die alten Anschauungen vom Lauf der Himmelskörper schon siegreich verscheuchte und dabei dem längst dahingeschiedenen Kopernikus die vorenthaltene Anerkennung errang. Nichts von alledem hat den, behaglich das Leben eines kleinen Hofes schlürfenden Gartenbaumeister berührt oder erfaßt, während er Springbrunnen und Grotten mit allerlei Wasserspiel ausdachte und ausführte. In dem Gebiete der Wasserkünste liegt auch die Kleinigkeit, welche man geglaubt hatte, zu der großen Erfindung aufbauschen zu dürfen. Es ist die in

Fig. 3 dargestellte Vorrichtung. Das zugehörige „Theorem" ist so kurz, daß es sich, da man noch immer nicht unterlassen will, Salomon de Caus' Strohpuppe zwischen die Marmorbilder großer Männer zu schieben, empfiehlt, es wörtlich (übersetzt) wiederzugeben.

Fig. 3



Wasser wird, mit Hülfe des Feuers, höher als sein Spiegel steigen.

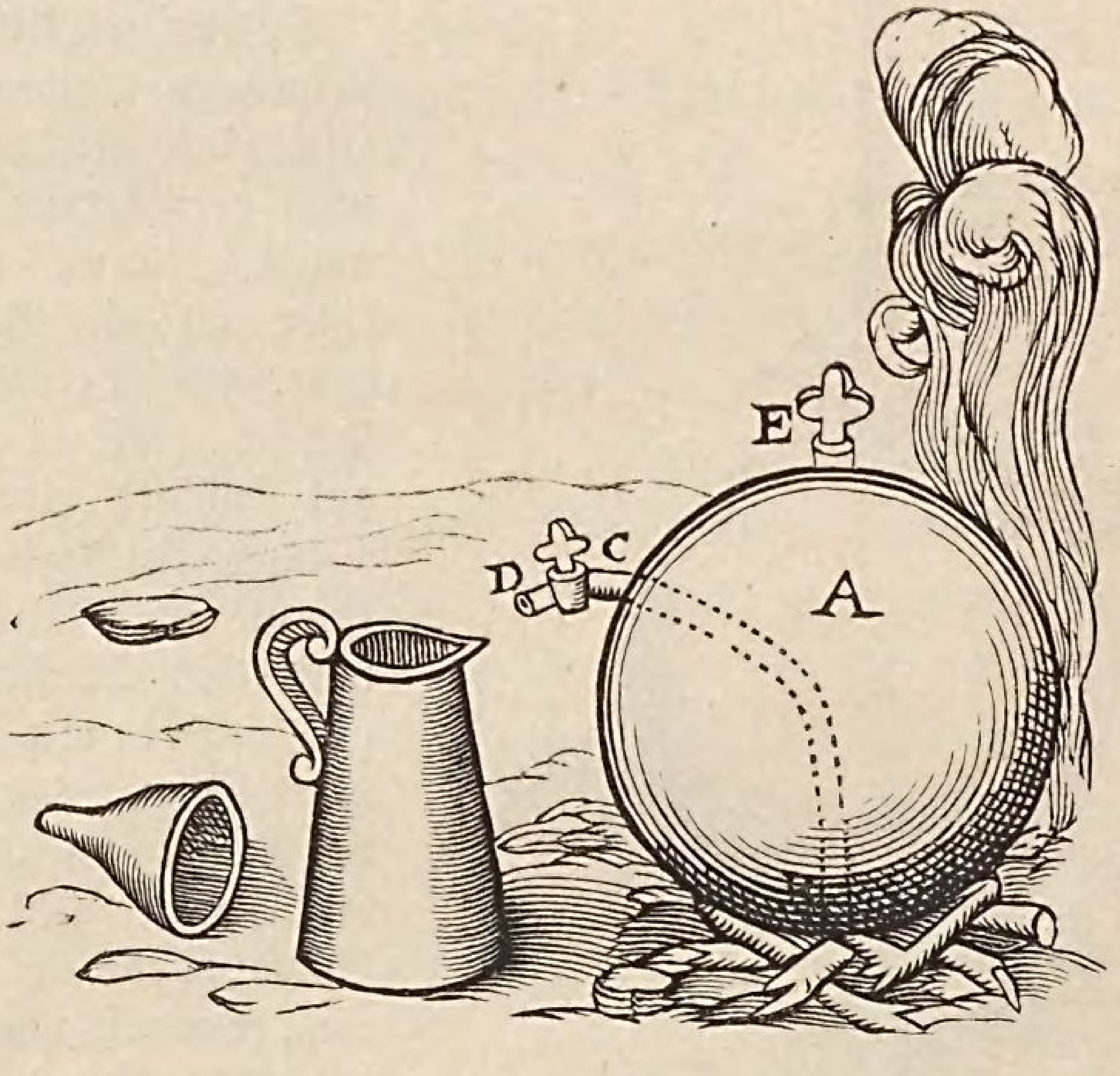
Das dritte Mittel (Wasser) steigen zu machen, ist: mit Hilfe des Feuers, wonach man verschiedene Maschinen machen kann, von deren einer ich die Beschreibung gebe. Es sei eine Kugel aus Kupfer, mit *A* bezeichnet, gut gelötet ringsum, an welcher ein Hahn *D* angebracht ist, durch welchen man das Wasser zuführt, und auch ein mit *BC* bezeichnetes Rohr, das am Scheitel der Kugel angelötet ist, und das Ende *C* geht nahe zum Boden, ohne ihn zu berühren, darauf muß man die genannte Kugel durch den Hahn mit Wasser füllen, und darauf diesen wieder gut schließen und es (die Kugel ist gemeint) aufs Feuer setzen, dann wird die Hitze, indem sie gegen die Kugel schlägt, das gesamte Wasser auftreiben, durch das Rohr *C*.

Das ist alles. Es kommt kein Wort von Dampf vor, noch auch nur eine Andeutung, wie man eine nützliche Maschine aus dem Ganzen machen könne. Daß es sich um die ganz gewöhnliche Beobachtung am Wasserkessel handelt, durch dessen Ausguß das Wasser heraussprudelt, wenn der Deckel nicht rechtzeitig abgehoben worden,

wird ganz klar, wenn man das auf S. 2 desselben Buches behandelte „erste Theorem“ näher ansieht, zu welchem folgende Fig. 4 gehört. Ich füge diese Abbildung noch bei, um zu zeigen, wie arm an Inhalt die Sache ist. Hier läuft das hervorsprudelnde Wasser in eine Kanne. Es wird breit ausgeführt, daß das Element „Feuer“ die Elemente „Luft“ und „Wasser“ trenne.

Aus allen, noch so alten, wirklich wissenschaftlichen Büchern, auch wenn sie längst überholt sind, kann man heute noch lernen, zum mindesten, bei aller Unvollkommenheit der Schlußweise, aus der Art und Weise der Behandlung: aus den Schriften Archimeds,

Fig. 4



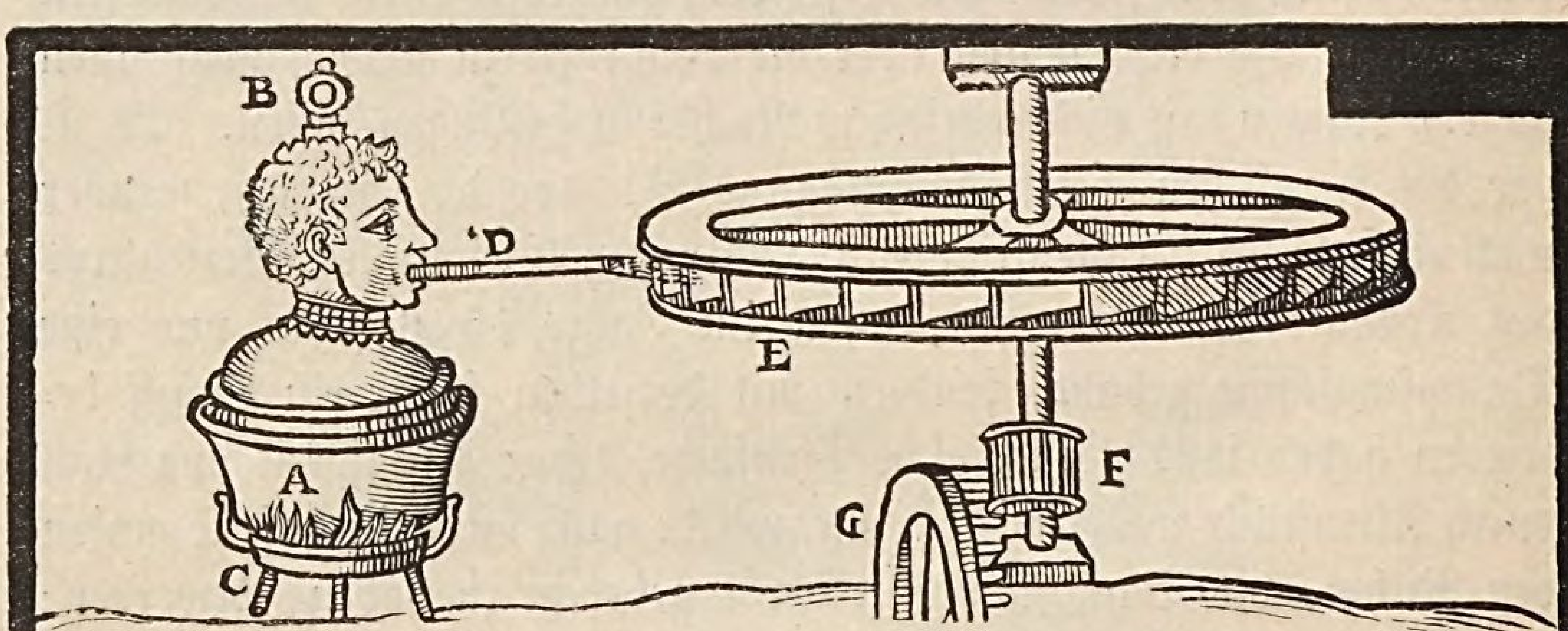
Herons, Philons, Vitruvs, der alten indischen Mathematiker; hier aber lernt man nichts; es kommt nichts zum Vorschein, als hohle, höchst selbstgefällige Klügelei über Winzigkeiten, die der einfach gesunde Menschenverstand auch damals ohne weiteres sah, eine Klügelei, die von dem scharfblickenden Sinn der damaligen Handwerker weit überboten wird. Es ist sehr zu bedauern, daß der bedeutende Arago sich hat hinreißen lassen, das leere Ei des de Causschen „Theorems“ in die wichtigen Untersuchungen über die Entwicklung der Dampfmaschine hineinzuspielen. Auch behauptet

ja de Caus selbst nichts Besonderes von seinem Lehrsatz. Ebensowenig thut das sein Anverwandter und Fachgenosse Isaac de Caus, der bald nach ihm schrieb. So sieht sich denn die ernste geschichtliche Forschung genötigt, von de Caus' Haupte sowohl den Lorbeerkranz des Erfinderruhms, als die Dornenkrone des Märtyrertums herabzunehmen und ihn ungerührt zurückzugeleiten in den gemütlichen Kreis des achtbaren Zeichenmeisters und Hofgartenkünstlers, aus welchem ihn Irrtümer unserer Zeit zu falscher Größe emporgehoben hatten. Sehr schnell wird freilich sein Ruhm nicht verbleichen, denn das Publikum trennt sich nur ungern von seinen Helden; der deutsche Fachmann indessen, der das Heidelberger Schloß besucht, betrachtet schon heute das noch dort befindliche Bildnis des normannischen Meisters, den beigeklebten Auszügen aus Bailles und Arago zum Trotz, nur noch mit dem mitleidigen Anteil an der zerplatzten Seifenblase unechten Ruhmes.

Die Forschungen nach dem Erfinder der Dampfmaschine haben seiner Zeit in dem schädlichen Bestreben, um jeden Preis national sein zu wollen, also die Eitelkeit über die Wahrheit zu stellen, noch einen andern Namen mit nicht geringem Nachdruck erklingen lassen. Es ist der des spanischen Schiffshauptmanns Blasco de Garay, welcher nach einer 1825 veröffentlichten Mitteilung von Gonzales, Verwalters des Archives in Simancas, schon im Jahre 1543 nicht nur eine Dampfmaschine gebaut, sondern mit derselben sogar ein Schiff betrieben haben soll. Eine solche Thatsache, deren Richtigkeit angeblich durch Aktenstücke nachgewiesen war, würde ganz unzweifelhaft Spanien den Ruhm, die Dampfmaschine hervorgebracht zu haben, erwerben; gleichwohl mußte sie aus inneren Gründen sehr zweifelhaft erscheinen, und wurde schon von Arago 1826 als völlig unsicher angesehen. Erst vor einiger Zeit hat sich der treffliche spanische Geschichtsforscher Lafuente es angelegen sein lassen, unbeirrt durch die Schwäche der nationalen Eitelkeit, volles Licht in die Sache zu bringen. Die peinlich genaue Prüfung aller Schriftstücke, welche über Blascos Angelegenheit vorhanden waren, und welche sehr weitgehende Aufschlüsse gaben, hat unzweifelhaft dargethan, daß die Mitteilung von Gonzales, welcher einen „Kessel mit siedendem Wasser“ und dergl. angeführt hatte, unrichtig war. Blasco hat

allerdings mehrere Versuche mit Schiffen behufs einer neuen Fortbewegungsweise derselben gemacht, und zwar den ersten 1540 mit einer Barke, den letzten und größten 1543 mit einem Schiff von 300 Tonnen; aber es handelte sich um nichts anderes, als um Schaufelräder, welche durch Menschenkraft mittelst Kurbeln umgetrieben wurden. Beim ersten Versuch wurden sechs Schaufelräder, beim letzten nur zwei benutzt. An den Kurbeln arbeiteten bei dem letzten Versuch 50 Mann. Der Erfolg war, wie wir leicht begreifen, nicht bedeutend genug, um die Admiralität Karls V. zu veranlassen, die Radgaleere statt der Rudergaleere einzuführen. Das Ganze hat hiernach durchaus nichts mit der Dampfmaschine zu thun. Selbst die Schaufelräder als Treibgezeug für Schiffe können nicht als Blascos Erfindung bezeichnet werden, da sie lange vorher schon, selbst den Römern, bekannt waren. Kehren wir daher nun zu den wirklichen Vorläufern der Dampfmaschine zurück.

Fig. 5



Joh. Branca, der Erbauer der Kirche von Loretto, läßt in seinem Buche „Die Maschinen“, 1629, die Äolipile auf ein Schaufelrädchen blasen (s. Fig. 5), und durch letzteres ein Stampfwerk für eine Apotheke in Bewegung setzen. Dem Ganzen liegt abermals der Gedanke von der Verwandlung von Wasser in Wind zu Grunde, wie Branca denn auch an anderer Stelle jenes Rädchen durch den Zug eines Schornsteins treiben läßt, ein Zeichen mehr, daß Branca allerhöchstens nur kleine Modelle (wie Heron) ausführte.

Der Jesuitenpater Kircher beschreibt auch in einem seiner vielen Bücher 1641 eine der de Caus'schen ähnliche Vorrichtung, ebenso 1657 ein Pater Dobrzenski; beider Vorrichtungen zeigen aber in der Form die größte Ähnlichkeit mit dem Heronsbrunnen.

Endlich ist hier noch eines Engländers zu gedenken, des Edward Somerset, zweiten Marquis von Worcester (1601 bis 1667), dem seine Landsleute die Erfindung der Dampfmaschine zuschreiben wollen. Worcester war in die politischen Wirren, die England in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts durchmachte, tief verflochten, betrieb aber zugleich, sozusagen als Sport, praktische Mechanik. Hiervon giebt uns seine 1663 erschienene Schrift Zeugnis. Sie heißt:

Ein Hundertvoll der Namen und Beispiele (*scantlings*) solcher Erfindungen, so zur Zeit ich mich erinnern kann, versucht und vervollkommnet zu haben, welche (da meine früheren Aufzeichnungen verloren wurden) ich auf das Dringen eines mächtigen Freundes nun in dem Jahre 1655 versucht habe, diese*) niederzulegen in solcher Weise, mich genügend zu unterrichten, irgend eine davon praktisch auszuführen. London, gedruckt bei J. Grismond, im Jahre 1663.

Nach zwei schwülstigen Widmungsreden, eine an den König, die andere an das Parlament gerichtet, folgen die „Erfindungen“. Da sind fünf Geheimschriften, Schriften mit Farben, schreckliche Sprengmittel, z. B. wörtlich Nr. 9: „Eine Vorrichtung (*engine*) in der Tasche tragbar, welche man bringen und befestigen kann am Innenbord des größten Schiffes, *Tanquam aliud agens*, und das dann zu einer bestimmten Minute, sei es eine Woche später, am Tage oder in der Nacht, das Schiff unfehlbar zum Sinken bringen wird.“ Jede Erläuterung dieses erschrecklichen Zeittorpedos fehlt. Die Einschiebung von Küchenlatein, wie vorstehendes: *Tanquam aliud agens* „gleichwie (etwas) anderes thuend“, liebt seine Lordschaft sehr. Die folgende Nummer lautet: „Eine Meil ab unterzutauchen und eine gleiche Vorrichtung an irgend einem Schiff zu befestigen, so daß sie pünktlich ebenso wirke, sei es für Zeit oder Ausführung.“ Und Nummer 11: „Wie ein Schiff zu behüten und sicher zu stellen

*) Das „diese“ ist als sinnstörend hinwegzudenken.

gegen solchen Anschlag bei Tag oder bei Nacht.“ In deutschen oder französischen, zeitgenössischen Werken, die oft auch recht ungewöhnliche Dinge vorführen, kommt hinter dem Satz immer die Erklärung, wie denn nun das zu machen sei, gleichsam der Beweis zur Behauptung. Nichts von alledem bei Worcester! Die Mühe, die sich der englische Herausgeber Dircks (1865) gegeben, das ungesalzene, schwammige Zeug zu erklären und ihm allerlei Leistungen Anderer als Vorstufen vorzusetzen, erinnert lebhaft an die Goethische Xenie:

Im Auslegen seid frisch und munter!
Legt ihr nicht aus, so legt ihr unter.

Das wirklich Beste von all den 100 Stücklein, die der edle Lord seine Erfindungen nennt, ist noch die Nummer 68, welche nach seinen englischen Auslegern die Erfindung der Dampfmaschine bedeuten soll. Es lautet: „Eine wunderbare und sehr kräftige Weis, Wasser durch Feuer aufzutreiben, nicht indem man es aufwärts zieht oder saugt, denn das muß sein, wie der Naturkündiger es nennet, *Intra sphaeram activitatis*, welches nur ist auf solche Entfernung*). Aber diese Weis hat keine Grenzen, wenn die Gefäße stark genug sind; denn ich habe ein Stück einer großen Kanone genommen, deren Ende geborsten gewesen und es zu drei Viertel (mit Wasser) gefüllt, das geborstene Ende verstopfend und verschruwend; desgleichen das Zündloch; und nachdem ich ein dauernd Feuer darunter gemacht, zerplatzte es nach 24 Stunden und machte einen großen Krach: So eine Weis (gefunden) habend, meine Gefäße zu machen, derart, daß sie verstärkt werden durch die inwendige Kraft, und das eine zu füllen nach dem andern**). Ich habe das Wasser herauskommen sehen als stetigen Springstrahl 40 Fuß hoch; ein Gefäß voll Wasser, verdünnt durch Feuer, treibt 40 auf von kaltem Wasser. Und ein Mann, der des Werkes wartet, hat bloß zwei Hähne zu drehen, auf daß, wenn ein Gefäß voll Wasser verbraucht ist, ein anderes zu treiben beginnt und (ersteres) mit kaltem Wasser wieder anzufüllen, und so folgeweis, während das Feuer geschürt und unterhalten wird, was die selbige

*) Die begrenzte Saughöhe ist wohl gemeint. Das Füllsel von Latein macht nichts besser.

**) Verworren und unklar nach allen Richtungen.

Person gleicherweis reichlich thun kann zwischen der Notwendigkeit, die besagten Hähne zu drehen."

Wenn wir so nachsichtig wie nur möglich sind und übersehen, daß der schlechte Stil in einer Zeit, in der Englands Schrifttum schon die höchsten Stufen erklommen, den unklaren Kopf verrät, und wenn wir die windbeuteligen Andeutungen über die andern 99 sogenannten Erfindungen auf sich beruhen lassen, so finden wir die Kochkesselgeschichte des Salomon de Caus wiederholt, mit dem einen Fortentwickelungsgedanken, daß zwei der Töpfe nebeneinander gestellt sind und oberhalb der beiden Ausflußhähne in dasselbe Strahlrohr münden; sie sollen sodann abwechselnd bedient werden. Hierbei haben wir uns zu denken, daß der „Mann" den leer geblasenen Topf nach Wegschiebung des Feuers wieder füllen mußte mit einem Gießgefäß, wie bei de Caus' Fig. 4 angedeutet. Es ist Wortklauberei, die unklar angedeutete Vorrichtung eine Dampfmaschine zu nennen. Nicht ein Wort von Dampf steht in der Mitteilung; Worcester hält mit seinen Zeitgenossen die durch Feuer aus dem Wasser ausgetriebene Luft für den treibenden Mitwirker. Von der Luft kannte man soeben erst die Schwere zu jener Zeit, von Wasserdampf gar nichts; des letzteren Wirkungen hatte man ja seit Jahrtausenden bemerkt, aber irrig gedeutet. So fand auch hier bei der nur angeblich vorhandenen, nicht einmal als solche erwiesenen Vorkehrung die Austreibung des Wassers durch Dampf, nicht durch Luft statt. Diese Austreibung kannte jede Hausfrau, die Steigerung derselben durch vorheriges Hahnschließen jeder Küchenjunge; die winzige Zuthat der abwechselnden Wirksammachung der nebeneinander gestellten Töpfe darf nicht irgendwie hoch angeschlagen werden angesichts des Umstandes, daß damals schon längst recht künstliche Pumpenbauten in Bergwerken, Hütten, daß vielerlei recht gute Maschinen anderer Art schon lange im vollen Gebrauch waren. Man braucht bloß zu beachten, was anderthalb Jahrhunderte vorher gesehen, durchdacht und beschrieben, was schon lange vor 1600 in allerhand Fabriken mit Maschinen gemacht wurde, auch mitten in London, um einzusehen, einen wie oberflächlichen Geist man hier an die Spitze einer großen Sache zu setzen versucht hat. Nicht eine „Maschine" ist es endlich, nur eine „Vorrichtung", und zwar eine sehr unvollkommen

gedachte, was man in Worcesters wertlosem Flatterheft aufgethan, um seinem unwissenden Urheber die große Erfindung der Dampfmaschine zuzuschreiben. Diese verlangte Gedanken, ernste, tiefe Wissenschaftlichkeit, angestrengte opfervolle Arbeitsamkeit, alles Dinge, die dem leichtlebigen Lord nicht zu Gebote standen. Zu bedauern ist, daß auch der geistvolle Bulwer sich nicht hat enthalten können, Worcester in seinem „letzten Baron“ als den Erfinder der Dampfmaschine zu feiern und damit in breiten Schichten seiner Landsleute den großen Irrtum zu befestigen.

Werfen wir nun einen Blick rückwärts auf die bis hierhin besprochene Zeit, so muß uns der völlige Mangel an Fortschritt in den Gedanken über die Dampfbenutzung auffallen. Zwanzig Jahrhunderte lang schleppt sich einförmig derselbe unentwickelte Gedanke der Umbildung von Wasser in Luft hin, ohne eine einzige wirkungsvolle Anwendung zu finden. Mit selbstgefälliger gelehrter Weitschweifigkeit wird das bedeutungsarme Ergebnis der Alltagsbeobachtung hin- und hergewürfelt, stets aufs neue tritt man die alte rostige Erbschaft der Äolipile und der Heronskugel an, und stets wieder werden die alten daran haftenden Irrtümer, reliquienartig verehrt, mit hinübergenommen. — Der Schlüssel zu diesem dumpfen Stillstande der Gedankenentwicklung ist der vollständige Mangel der wissenschaftlichen Naturforschung, durch welchen sich die scholastische Gelehrsamkeit — die „Schulweisheit“ nannte sie Shakespeare schon zu Bacos Zeiten — kennzeichnet. Die Naturwissenschaft von heute, fußend auf den Versuch und die Aufschlüsse der mathematischen Behandlung der Fragen, bestand vor dem 17. Jahrhundert kaum in ihren Anfängen, und es war deshalb eine volle Unmöglichkeit, die Dampfmaschine hervorzubringen, deren Grundlage die Erkenntnis von dem Zusammenhange der dabei in Mitwirkung gezogenen Naturerscheinungen ist. Wir sehen daher auch den eigentlichen Grundgedanken der Dampfmaschine erst von dem Augenblick an sich bilden, wo die heutige Wissenschaft entstand; ihre Erfindung ist ein Ergebnis wissenschaftlicher Erkenntnis, nicht eines glücklichen Ungefährs; wir sehen sie mit dieser Wissenschaft sich Schritt für Schritt entfalten; wir sehen sie auch heute mit den Lehren der Physik sich weiter ausbilden; ja, auch ihre zukünftige Entwicklung oder Umbildung wird zweifellos mit derjenigen der Wissenschaft Hand in Hand gehen.

II. Erfindung und Ausbildung

Die Geschichte der Dampfmaschine läßt sich, wie das Vorstehende erkennen läßt, nur schwer trennen von einer Geschichte der neueren Naturwissenschaft. Einige Hauptpunkte der letzteren müssen deshalb hier hervorgehoben werden. Diese neuere Wissenschaft bildete sich Ende des 16. und Anfang des 17. Jahrhunderts, einer Zeit, wo Männer wie Galilei, Kepler, Baco, mit Anschauungen auftraten, welche mit der alten Schulgelehrsamkeit anfänglich in vorsichtigem Widerspruch standen, bald aber in wirklichen Kampf mit derselben traten, um sie endlich völlig zu besiegen. Vor diesem Sonnenaufgang der Wissenschaft waren Naturerscheinungen, die mit der Bildung von Wasserdampf zusammenhingen, wie wir sahen, sogar benutzt worden, aber immer nur im Anschluß an irrige Erkenntnis. Erst die richtige Erkenntnis und die auf sie begründete planmäßige Veranstaltung, vermöge deren die Naturkraft in die Lage versetzt wurde, eine bestimmte Wirkung auszuüben, führte zur Erfindung der Dampfmaschine.

Die hierfür wichtigste, überhaupt die hervorragendste Entdeckung jener Zeit ist die von der Schwere der atmosphärischen Luft, gefunden durch Torricelli im Jahre 1643. Torricelli, der in Rom Mathematik studiert hatte, und durch Galileis Schüler, seinen Freund und Lehrer Castelli, in des großen Meisters Forschungen eingeführt war, wurde 1641 des von Krankheit geschwächten, erblindeten Galileis Gehülfe. Zu seiner wichtigen Entdeckung wurde er durch einen sehr bekannten zufälligen Anlaß, eine Verlegenheit der Pumpenmacher im großherzoglichen Garten in Florenz, wo eine Pumpe nicht über 32 Fuß hoch Wasser hatte ansaugen wollen, geführt. Längere Zeit beschäftigte der Fall die gelehrte Welt nicht nur Toscanas. Die Theorie von dem „Abscheu der Natur vor dem Leeren", dem sog. *horror vacui*, wollte nicht ausreichen; und während Galilei, der schon drei kurze Monate nach Torricellis Ankunft gestorben war, die merkwürdige Thatsache der zu geringen Festigkeit der Wassersäule zugeschrieben hatte, führte

Torricellis Nachdenken diesen auf den Gedanken, daß es nur Luftschwere sei, welche das Wasser in die Höhe treibe, es aber nicht höher führen könne, als ihrem Druck zukäme. Er schloß sofort, daß beim Quecksilber, das nahe 14 mal so schwer sei als das Wasser, die Flüssigkeitssäule auch nur $^1/_{14}$ der Höhe der Wassersäule erreichen könne. Der Versuch mit einer Glasröhre bestätigte seine Ansicht, die wir täglich am Barometer unter ganz denselben Umständen, welche der Entdecker zum Beweise benutzte, bewahrheitet sehen. Das Aufsehen, das diese Entdeckung hervorrief, war geringer, als man heute glauben sollte; es bekundete sich vorwiegend in widersprechenden Erklärungen des Vorganges, wie denn überhaupt die alte Schule die hochgelehrte Erörterung bedingungslos dem Versuch überordnete. „Du bist beinahe der Einzige“, schreibt bei einer andern Gelegenheit Galilei an Kepler über die damalige Gelehrsamkeit, „der meinen Angaben vollkommen Glauben beimißt. Als ich den Professoren zu Florenz die vier Jupitermonde durch mein Fernrohr zeigen wollte, wollten sie weder diese noch das Fernrohr sehen, sie verschlossen ihre Augen vor dem Licht der Wahrheit. Diese Gattung von Menschen glaubt, in der Natur sei keine Wahrheit zu suchen, sondern nur in der Vergleichung der Texte.“ Galileis überzeugende Fallversuche, die er auf dem schiefen Turm in Pisa veranstaltete, vermochten nicht die alten Schulmeinungen zu erschüttern. Mehrere Jahre lang blieb so auch Torricellis Entdeckung teils unbekannt, teils unbeachtet. Erst 1646 brachte Mersenne den Versuch von einer wissenschaftlichen Rundreise mit nach Frankreich, wo derselbe von Pascal in Rouen mit Erfolg wiederholt wurde (unter anderm auch mit rotem Weine, der sich in einer 46 Fuß hohen Glasröhre 32 Fuß hoch stellte). Trotz seiner mathematischen Gründlichkeit gab aber Pascal dem Versuch eine andere Deutung als Torricelli, die nämlich, „daß die Scheu der Natur vor der Leere begrenzt sei“. Als er aber, von seiten der alten Schule durch heftigen Widerspruch gegen diese „Verdächtigung der Natur“ gereizt, genauer forschte und ihm auch die Torricellische Erklärung der Erscheinung ausführlicher bekannt wurde, trat er derselben bei. Alsbald schloß er, daß auf Höhen der Luftdruck kleiner, und also die Flüssigkeitssäule niedriger sein müsse als in der Ebene. Auf seinen Anlaß wurde daher durch seinen Schwager

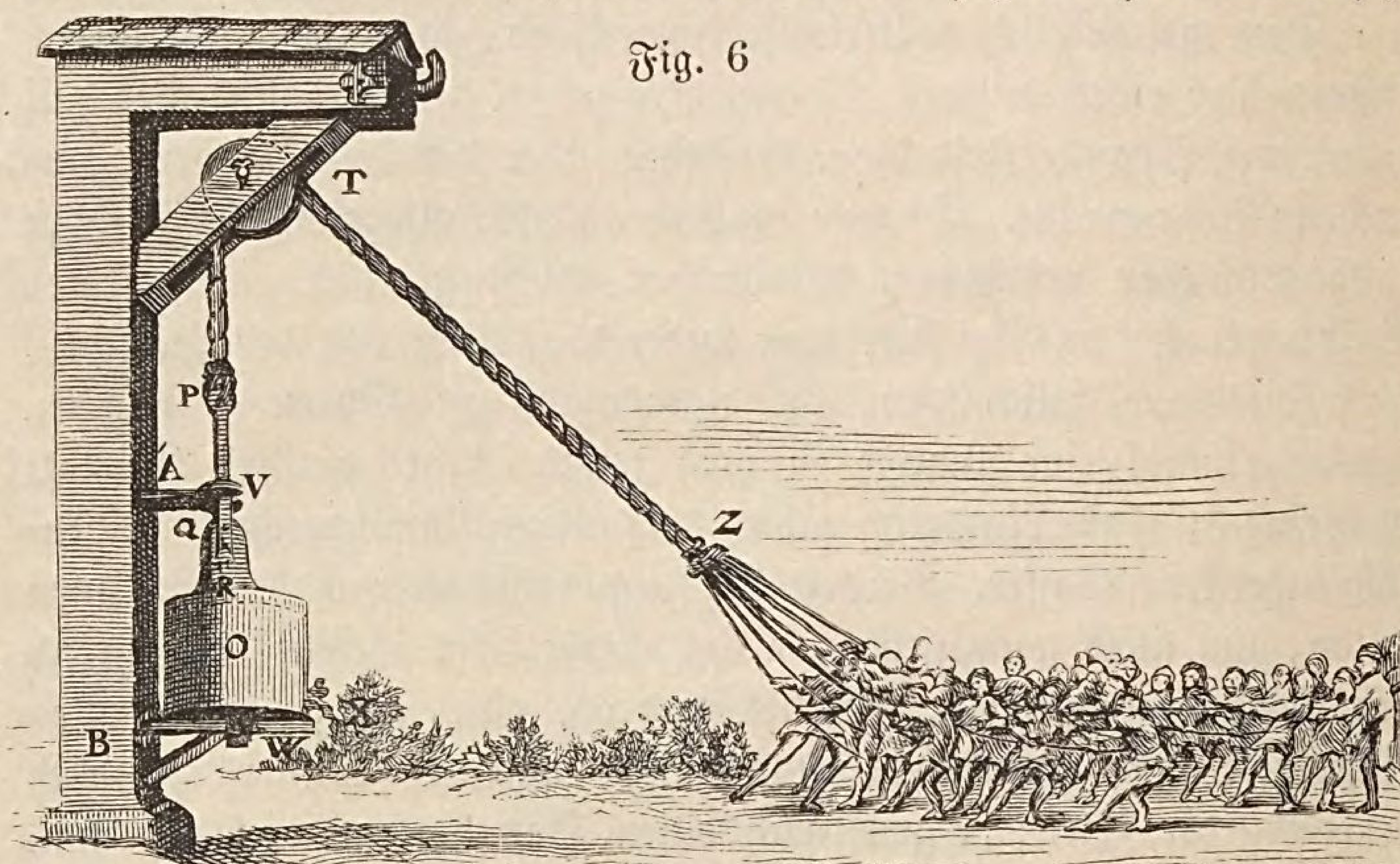
Périer auf dem Puy de Dôme bei Clermont der Torricellische Versuch wiederholt, wobei sich dessen Anschauung vollkommen bestätigte. 26 Zoll 3 Linien zeigte das Torricellische Rohr unten, 23 Zoll 2 Linien oben auf dem Berggipfel. Dies geschah am 20. September 1648, einige Wochen vor dem Abschluß des dreißigjährigen Krieges. Der Versuch vom Puy de Dôme war auch ein Friedenswerk für den bis dahin geführten Krieg der Geister; er beseitigte Pascals letzte Zweifel, so daß dieser von nun an ein eifriger Verfechter der neuen Anschauung wurde; er erklärte mit derselben eine Menge von Erscheinungen und wiederholte in mannigfachen Formen den nun zu großem Ruhm gelangten „Versuch von der Leere“.

Dem geschichtlichen Verlaufe vorgreifend, kann ich nicht unterlassen, hier eines heiteren, kleinen Ereignisses zu erwähnen, das auf eine kurze Spanne Zeit die alte Fehde über die Leere wieder anzufachen Miene machte. Es war im Jahre 1766, also ganze 118 Jahre nach dem eben erwähnten Périerschen Aufstieg, daß ein biederer Pumpenmacher in Sevilla, dem weder die Mähr von der Leerscheu, noch die vom italiänischen Wetterglasmann zu Ohren gedrungen, wieder einmal eine Pumpe zu hoch saugen lassen wollte, 50 statt höchstens 30 Fuß. Natürlich gab es trotz allem Abmühen am Pumpenschwengel kein Wasser. Verdrießlich stieg der Meister in den Brunnen hinab, um alles nachzusehen, während oben der Gesell fortwährend am Schwengel arbeitete. Nichts fand er, alles gut gemacht, alles dicht, fest und in Ordnung, und immer noch kein Wasser! Endlich faßte ihn der Zorn; er griff nach seinem Hammer und hieb mit ihm, wahrscheinlich unter einer ansehnlichen Verwünschung, gegen das verstockt dastehende Pumpenrohr. Doch, was hörte er? Von oben rief es, daß das Wasser komme und brausend fließe. Er hatte mit seinem Krafthieb einen Riß in die hölzerne Teichel geschlagen: Luft drang ein und mischte sich mit dem Wasser zu einem minder schweren Gemenge, das nun vom Luftdruck an der Saugklappe gehoben werden konnte. Als die Sache ruchbar wurde, fehlte es nicht an solchen, die die ganze Neuerung von Torricelli und Pascal für nunmehr als überwiesen erklärten. In demselben Rouen aber, in welchem Pascals Rotweinbarometer gezeigt worden, machte ein Arzt, Lecat mit Namen, den spanischen Fall nach, indem er 10 Fuß

über dem Wasserspiegel ein Lufthähnchen in das Rohr setzte. Wenn er dieses öffnete, so saugte die Pumpe 55 Fuß hoch, wenn er es schloß, nur 30 Fuß wie vorher. Das dämpfte denn den angehobenen Streit. Es verdient aber bemerkt zu werden, daß wir heute in der Siemensschen „Geiserpumpe" solches durch Luftblasen erleichterte Gemisch absichtlich bilden, um es durch undurchlüftetes Wasser in die Höhe treiben zu lassen. Hier wird in wohlbedachter Erfindung benutzt, was unwillkürlich der zornige Pumpenmacher von Sevilla entdeckt hatte.

Wir kehren zu Pascal zurück. Seine Versuche und Beweise wirkten nach allen Seiten, und bald wurde jetzt auch der Wunsch

Fig. 6



allgemein, die Luftleere auf andere als Torricellis Weise herbeizuführen. Dies gelang zuerst und vortrefflich dem Magdeburger Bürgermeister und kurbrandenburgischen Staatsrat Otto von Gericke mit der Luftpumpe. Nach vielen mehr oder minder mißglückten Versuchen gelang es ihm, dieselbe befriedigend herzustellen, worauf er zahlreiche Versuche mit ihr ausführte. So lieferte er Beweise von der Kraft des Luftdruckes mit den nach ihm genannten Halbkugeln, die durch beiderseits neun und mehr Pferde nicht konnten auseinandergerissen werden; auch untersuchte er den Einfluß der Luftverdünnung auf die Atmung, auf die Verbrennung u. s. w.

Unter anderm führte er auch 1654 auf dem Reichstage zu Regensburg das Erstaunliche aus, von dem Kolben eines Luftcylinders, den er plötzlich fast ganz von Luft entleerte, den Widerstand von zwanzig starken Männern, die an einem Seile den Kolben festhielten, überwinden zu lassen.

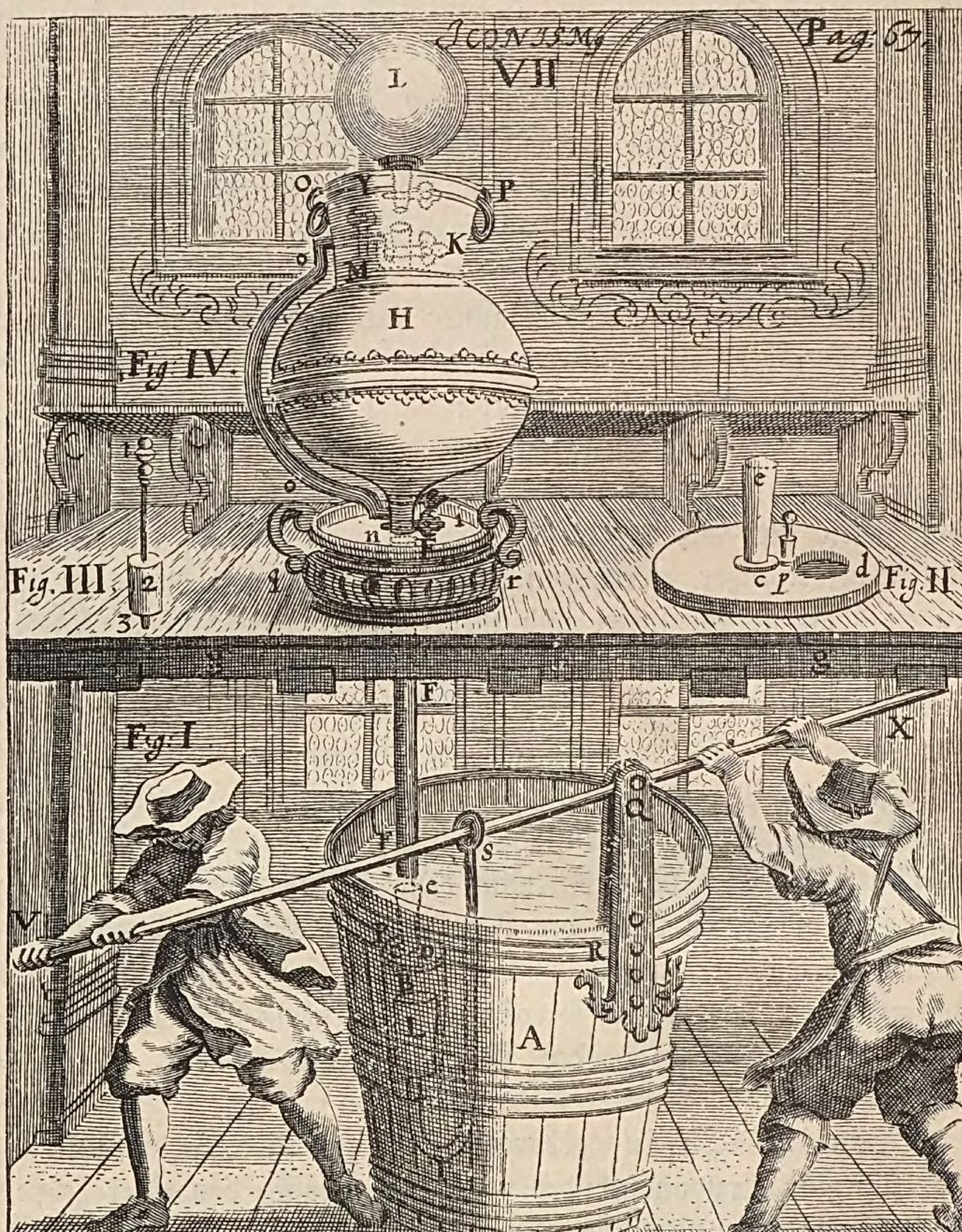
Eine Darstellung des Vorganges aus damaliger Zeit giebt Fig. 6. Es sei erwähnt, daß Gericke den vollkommen dichten Verschluß am Kolbenumfange dadurch erzielte, daß er vor Beginn der Entleerung eine Schicht Wasser auf die obere Fläche des Kolbens goß.

Mit Verwunderung und Staunen sah und vernahm man von den merkwürdigen Wirkungen des Luftdruckes und kam bald zu dem Verlangen, diese erstaunliche Kraft nützlich, als Treibkraft verwenden zu können. Hierhin richtete sich nun das Streben vieler Gelehrten, die sich die Aufgabe stellten, die Luftleere auf eine einfachere Weise herzustellen als Gericke, dessen Versuchsvorkehrungen die Unmöglichkeit gewerblicher Verwertungen der neuen Kraft darin an sich trugen, daß sie ebensoviel und mehr Arbeit menschlicher Muskelkräfte erforderten, als sie zu ersetzen imstande waren; wo sollte demnach der Gewinn liegen? Wie entschieden diese Überzeugung aus dem Anschauen der Gerickeschen Versuche hervorgehen mußte, lehrt die Fig. 7 (a. f. S.), welche nach einer zeitgenössischen Darstellung eine vom Erfinder bereits wesentlich „verbesserte“ sog. Magdeburgische Maschine darstellt. So stößt man denn in den gelehrten Schriften jener Zeit bis gegen Ende des Jahrhunderts auf mannigfache Versuche, die erwähnte Aufgabe zu lösen. Dieselben blieben aber lange Zeit erfolglos, bis endlich Papin auf deutschem Boden, in Marburg, den Schlüssel in der Niederschlagung des Wasserdampfes fand.

Dyonisius Papin, geboren 1647 zu Blois in Frankreich, hatte sich zum Arzt ausgebildet; getrieben indessen von einer großen Vorliebe für mathematische Dinge, und ermutigt durch Huygens, der in Paris seine berühmten Pendelversuche anstellte und dessen Gehülfe er wurde, ging er bald ganz zur physikalischen Wissenschaft über und begab sich 1665 (nicht etwa vertrieben wegen seines Religionsbekenntnisses, sondern freiwillig) nach England, wo er mit

Rob. Boyle, dem Stifter der „Königlichen Gesellschaft für Kunst und Wissenschaft“ bekannt wurde. 1680 wurde er auf Grund

Fig. 7



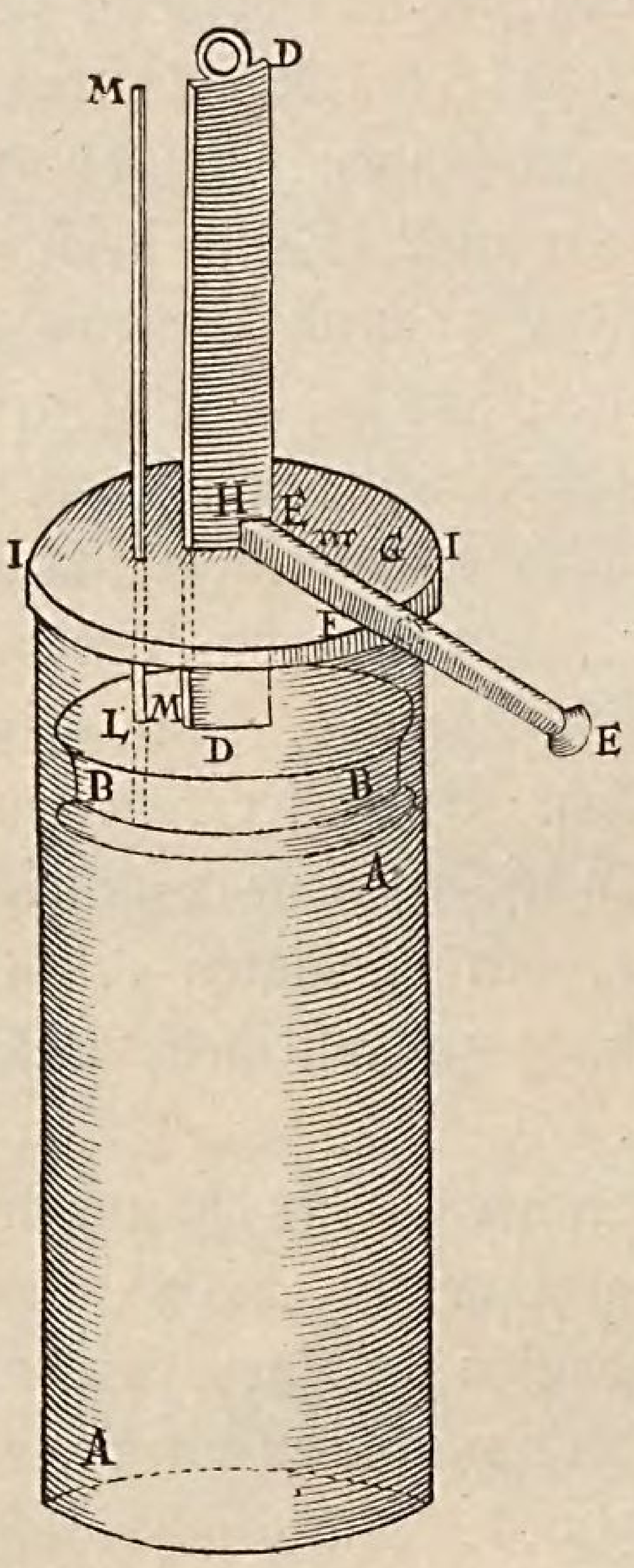
mehrerer ausgezeichneter physikalischer Arbeiten Mitglied der genannten Gesellschaft, und veröffentlichte als solches 1680 seine Erfindung, mit gespanntem Dampf in dem noch heute sogenannten

Papinischen Topf zu kochen. Papin scheint von einem eigentümlich unstäten Geiste beseelt gewesen zu sein; denn unter dem Einfluß derselben Wanderlust, die ihn 1665 ohne äußere Veranlassung von Huygens' Seite getrieben, sehen wir ihn 1681 abermals seine vorteilhafte und anerkannte Stellung in London verlassen, um auf Ritter Sarrotis wenig zuverlässige Anerbietungen hin in Venedig eine wissenschaftliche Akademie zu begründen. Hiermit trat Papin in den Wendepunkt seines Geschickes. Enttäuscht und verarmt kehrte er nach zwei Jahren schon nach London zurück, wurde indessen von der Königlichen Gesellschaft nur sehr lau empfangen, die ihn zwar wieder anstellte, aber nur zu unbedeutenden und schlecht besoldeten Arbeiten. Jetzt begann auch er sich mit der durch Guerickes Erfolge wachgerufenen Aufgabe zu beschäftigen; jedoch das Mißgeschick ließ nicht von ihm ab: mehrere dahin einschlagende Versuche vor der Königlichen Gesellschaft scheiterten wider alles Erwarten vollständig. Papins ohnehin schon gedrücktes Gemüt wurde hiervon schwer ergriffen, und er begann in eine sich stets steigernde, seine geistige Thätigkeit lähmende Schwermut zu versinken. In dieser Lage wurde er 1687 von dem erleuchteten, den Wissenschaften sehr geneigten Landgrafen Karl von Hessen aufgefordert, den erledigten Lehrstuhl der Mathematik an der Universität Marburg zu besteigen, welches Anerbieten er auch sofort freudig annahm.

In Marburg nahm er nach einiger Zeit der Eingewöhnung seine liegen gelassenen Arbeiten wieder auf, wobei er sich unter anderm mit dem damals mehrfach angeregten Gedanken befaßte, durch Abbrennen von Schießpulver unter dem Luftpumpenkolben die Leere zu erzeugen. Man erreichte allerdings den Zweck, konnte sich indessen technische Erfolge nicht versprechen, da das Austreiben der Luft unter dem Kolben zu beschwerlich war und auch nur höchstens bis zu $^4/_5$ geriet. So mußte denn die „Pulvermaschine“ wegen ihrer, obendrein gefährlichen Unzulänglichkeit wieder aufgegeben werden. Papin suchte unermüdlich nach andern Mitteln, und erwog nach vielen Seiten die Kraftfrage selbst, nämlich diejenige, welcherlei technische Leistungen durch den natürlichen Luftdruck zu vollziehen sein würden. Sonderbar berührt es, wenn man sieht, wie er die Fernleitung von Maschinenkraft derart benutzt sehen wollte, daß man in langen

Röhrenfahrten Luftverdünnung herbeiführt und erhält, heute, wo in Paris durch die *Société anonyme de distribution de force à domicile* derselbe Zweck mit unsern vorgeschrittenen Mitteln höchst erfolgreich erzielt worden ist. Es gelang aber Papin endlich, in der Eigenschaft des Dampfes, sich durch Abkühlung niederschlagen zu lassen, das lange gesuchte Mittel zu finden, welche Erfindung er 1688 in den „Verhandlungen der Gebildeten" veröffentlichte. Er bediente sich der in Fig. 8 nach Papins eigener Zeichnung dargestellten Vorrichtung. In dem Cylinder *A* wird vorerst unterhalb des Kolbens *B* eine kleine Menge Wasser durch ein untergestelltes Feuer verdampft, wobei ein bei *D* angreifendes Seil, das über Rollen geleitet und mit einem Gewicht belastet ist, den Kolben *B* und dessen Stange *H* in die Höhe zieht. Ist der Kolben oben angekommen, so wird er mittelst des Riegels *E* festgestellt und darauf das Feuer unten weggenommen. Allmählich kühlt sich jetzt der Cylinder ab, der Dampf schlägt sich nieder und läßt den Cylinder so viel wie leer, indem die kleine Menge Luft, die er zuerst enthielt, durch das mittelst der Stange *H* bewegbare Füllventil *L* vorher herausgelassen werden konnte. Wird nun der Riegel *E* weggezogen, so treibt der Luftdruck den Kolben hinunter, der das bei *D* mittelst des Seiles angreifende Gewicht hebt.

Fig. 8



Hier ist mit aller Klarheit der Grundgedanke zu einer „atmosphärischen" Dampfmaschine gegeben. Dies geschieht mit richtiger Erkenntnis der Natur des Wasserdampfes, nicht mehr mit der Auffassung der alten Schule von der Verwandlung des Wassers in Luft. Papin sagt: „. . . da das Wasser die Eigenschaft hat, nachdem es durch Feuer in Dämpfe verwandelt worden, federkräftig zu

sein (*faire ressort*) wie die Luft, und nachher durch die Kälte sich wieder so gut zu verdichten, daß ihm kein Anschein dieser Federkraft mehr übrig bleibt, so habe ich geglaubt, daß es nicht schwer sein würde, Maschinen zu machen, in welchen mittelst mäßiger Wärme und mit geringen Kosten das Wasser die vollständige Leere hervorbringen werde, welche man vergeblich mittelst des Schießpulvers zu machen versucht hat.“ Er kommt weiterhin, in derselben Abhandlung, auf die Anwendungen seiner Maschine zu sprechen und erwähnt: Wasser aus den Gruben zu heben, Bomben zu werfen, gegen den Wind rudern. Eingehender verweilte er bei der letzteren Verwendung, sagt, wie man nicht gewöhnliche Ruder (in den künftigen Galeeren), sondern drehende Ruder, Schaufelräder anwenden solle, wie Prinz Robert von der Pfalz in London an einem Schiff angewandt und durch Pferde (Göpel) betrieben, dabei den Sechzehnruderer des Königs weit hinter sich gelassen habe. Er führt dann aus, wie man drei oder vier seiner obigen „Röhren“ mit verzahnten Kolbenstangen in Zahnrädchen auf der Ruderradachse eingreifen lassen könne und sie abwechselnd wirken lassen solle, um der Achse eine ununterbrochene Drehung zu erteilen. Beim Heraufgehen der Kolbenstangen sollen sich die Treibrädchen lose auf der Achse drehen, aber mit Sperrklinken eingreifen, wenn sie treibend wirken sollen. Er sagt: „denn es ist eine bei den Uhrmachern ganz gewöhnliche Sache, Zahnräder auf Wellen oder Achsen so zu befestigen, daß sie, wenn von der einen Seite gestoßen, die Achse nötigen, sich mit ihnen zu drehen: nach der andern Seite aber können sie sich frei drehen, ohne der Achse irgend eine Bewegung zu erteilen, die also eine Bewegung haben kann, so derjenigen genannter Räder entgegengesetzt ist.“ Noch fügt er hinzu: „Die größte Schwierigkeit besteht also nur darin, eine Fabrik zu errichten, in welcher man mit Leichtigkeit „Röhren“ (wir würden sagen Dampfcylinder) leicht, groß und gleichmäßig (gebohrt) von einem Ende zum andern, herstellt“ ... „und diese neue Maschine kann wohl dazu ermutigen, solch eine Fabrik anzulegen, denn sie läßt erkennen, und zwar handgreiflicher als jemals, daß diese Kräfte großer Röhren (großer Dampfcylinder würde es heute lauten) sich sehr bequem zu mehreren Verwendungen von großer Bedeutung

eignen würden". Man sieht, daß die grundlegende Entdeckung von der Erzeugung der Leere durch Dampfniederschlagung klar und richtig ausgesprochen, die Anwendungen in der Technik weithin vorgesehen und auch die Mittel angegeben sind, die verfügbar werdende Kraft nutzbar zu verwenden, und zwar sowohl für bloße Hubbewegung als auch für Drehbewegung.

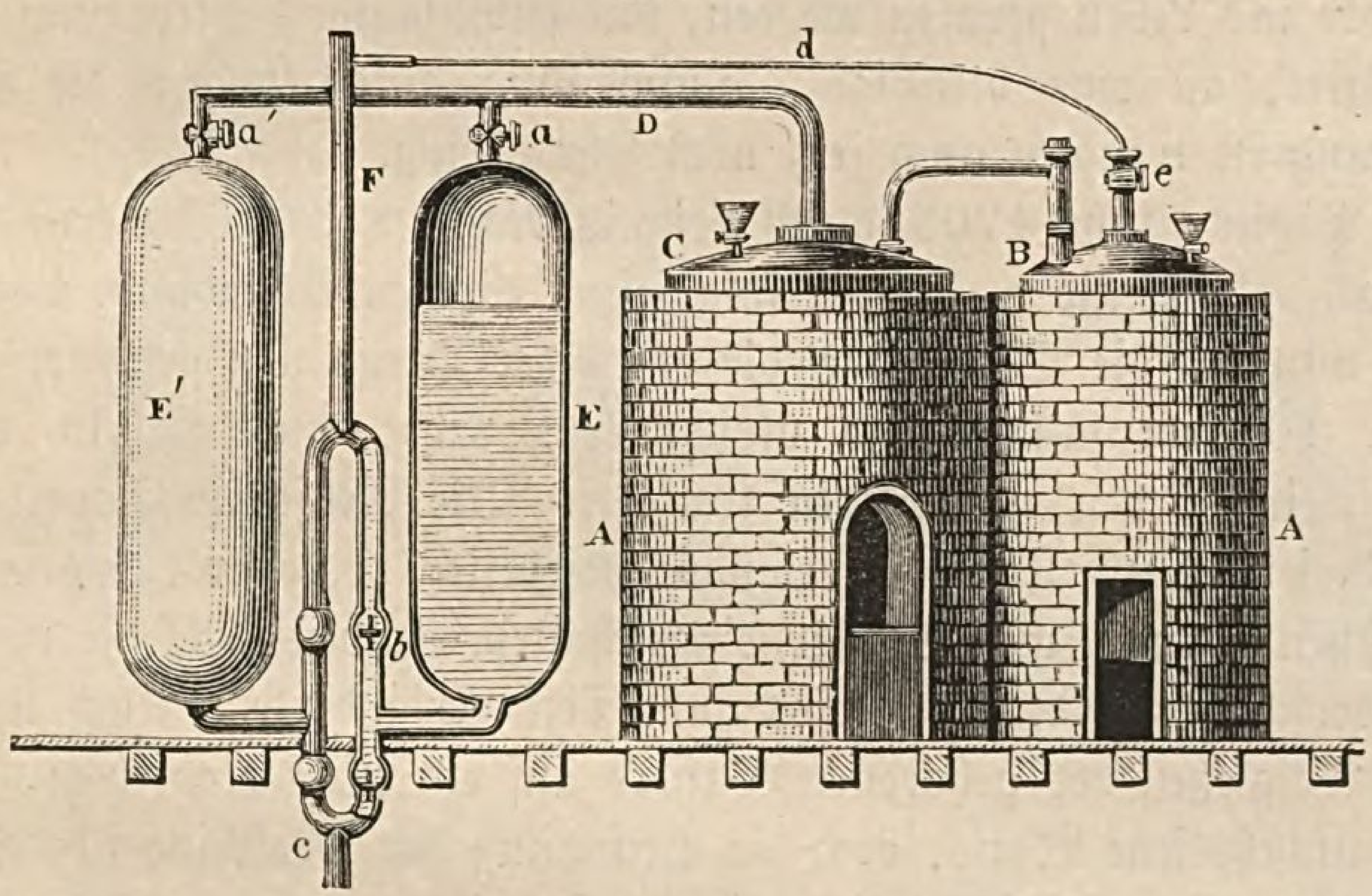
Als der wahre Erfinder der Dampfmaschine ist daher Dyonisius Papin zu bezeichnen, und mit Recht dankt ihm die Nachwelt, welche ihm (1859) in seiner Geburtsstadt Blois ein Denkmal errichtete.

Vielleicht ist es halb überflüssig, doch wohl auch nicht nutzlos, darauf hinzuweisen, daß zu Papins Zeiten die Verwendung von „Kolben und Cylinder" längst bekannt war. Man bediente sich in Bergwerken und an andern Stellen der Pumpen als etwas Althergebrachten; ja schon das Altertum kannte die Kolbenpumpen sehr wohl, wie denn der oben angeführte Hero die mit zwei Pumpenstiefeln und Kolben ausgerüstete Feuerspritze beschreibt. Der beschriebene „Luftspanner" des Philo von Byzanz wirkte ja ebenfalls mittels (zweier) Scheibenkolben. So bediente sich also Papin des Bekannten, Vorhandenen als Mittels und als Vorstufe; er stand wie andere Menschenkinder, die Neues hervorbringen, auf den Schultern der Vorgänger, als er das so lange gesuchte Mittel zur Verwirklichung eines von vielen verfolgten Gedankens fand.

Das Vertrauen, welches Papins Erfindung erweckte, muß sofort groß gewesen sein, indem Landgraf Karl von Hessen ihm den Auftrag erteilte, eine mit Dampf betriebene Wasserkunst zur Speisung des Fulda-Diemel-Kanals zu erbauen. Der Cylinder für die Maschine wurde um 1700 in Beckerhagen an der Weser gegossen und stellt — als der älteste Dampfcylinder — eines der merkwürdigsten Stücke des Museums in Kassel dar; auf Anregung des Verfassers wurde er 1879 seitens des Kasseler Museums in der „Ausstellung wissenschaftlicher Apparate" in London zur Schau gestellt. Die Pumpmaschine ist nicht fertig geworden (das Modell dazu war aber fertig und wurde bis 1806 im Kasseler Zeughause aufbewahrt; bei der Besetzung Kassels durch die Franzosen kam es abhanden). Inzwischen hatten die Ausläufer der schulgelehrten Betrachtungsweise

des Wasserdampfes, von denen wir in dem ersten Teile dieses Aufsatzes sprachen, auch auf die Benutzung der Dampfkraft hingewirkt, und zwar in dem Sinne, daß die Spannkraft des Dampfes nützlich verwendet werden sollte. Sie finden eine Vertretung in der Maschine von Savery. Nachdem dieser namentlich durch die Einwürfe des Physikers Robert Hooke von der Unzulänglichkeit der Papinschen Maschine überzeugt worden war, suchte er nicht etwa diese zu verbessern, sondern er baute eine andere Art von Dampfmaschine, die 1698 patentiert und in dem folgenden Jahre vor der Königlichen Gesellschaft geprüft wurde. Fig. 9 giebt eine etwas verschönernde Darstellung derselben. In dem Mauerwerk *A A* stehen zwei Dampf-

Fig. 9



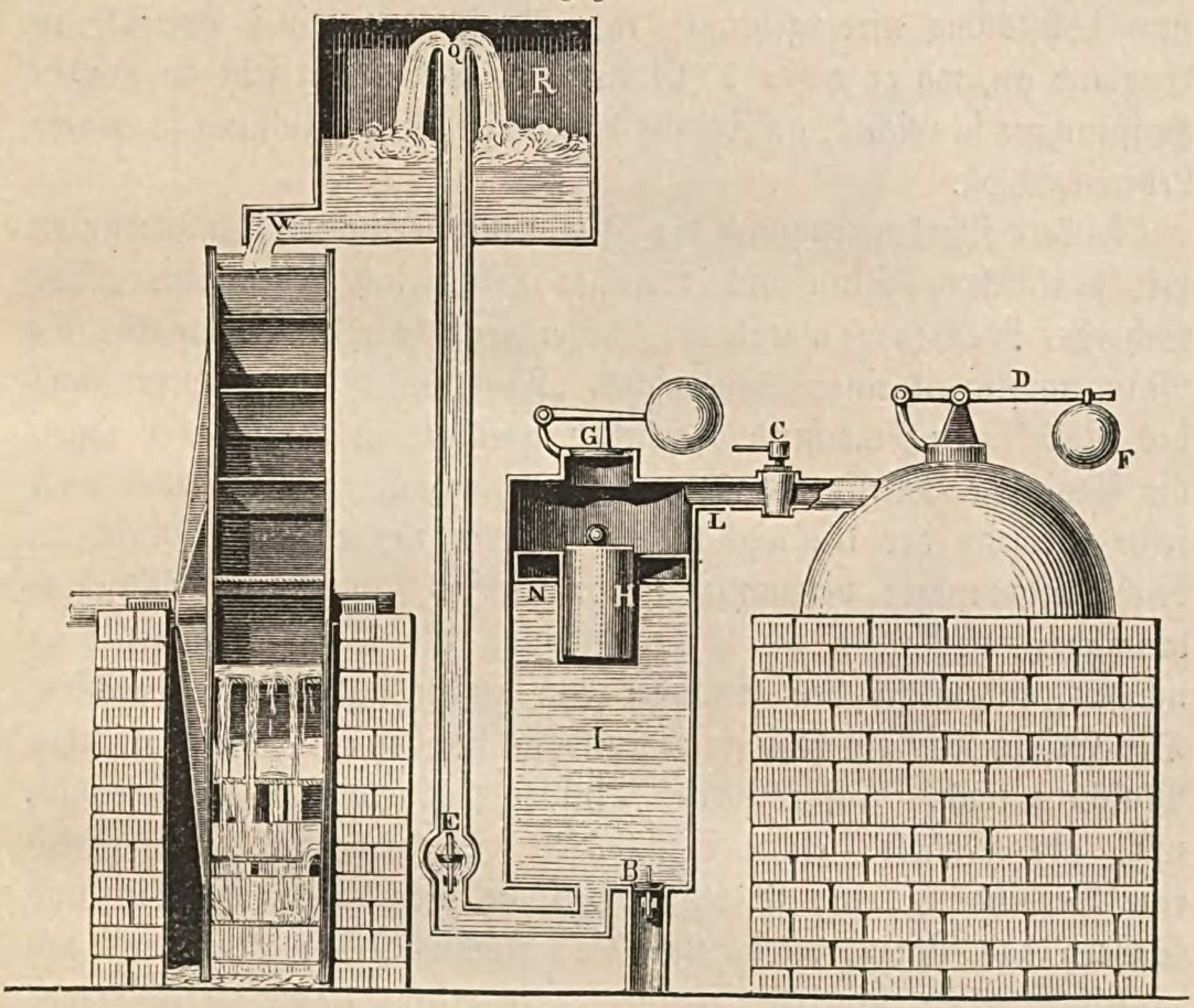
kessel *B*, *C*, von denen *B* durch *de* frisches Wasser empfängt, und es angewärmt in den eigentlichen Dampfentwickler *C* treten läßt. Der hier erzeugte Dampf wirkt abwechselnd in den beiden Behältern *E* und *E′*, aus denen er Wasser in die Höhe zu treiben bestimmt ist. Dieses Wasser wird dadurch in die Cylinder *E* und *E′* gebracht, daß man zuerst *E* durch *a* mit Dampf füllt, und diesen durch die allmähliche Abkühlung niederschlagen läßt, worauf der äußere Luftdruck durch *C* Wasser an die Stelle des Dampfes treibt. Soweit wurde also die Papinsche Erfindung benutzt. Sodann wird *a* wieder geöffnet, und es treibt nun der eintretende Dampf

das Wasser durch das Ventil *b* in das Rohr *F* und nach oben, wo sich *c* von selbst schließt. Die Anwendung zweier Wassercylinder machte die Thätigkeit der Maschine zu einer nahezu ununterbrochenen. — Auch diese Maschine hatte bedeutende Mängel, die namentlich in einer schädlichen Niederschlagung des Dampfes während des Auftreibens der Wassersäule sich zeigen mußten, und auf eine ungemein geringe Leistung des Dampfes hinausliefen, so daß sie gewerblich kaum anzuwenden war. Sie wurde auch hauptsächlich nur zum Betrieb von Springbrunnen benutzt; nur eine einzige Grube versuchte sie zur Wasserhebung zu verwenden. Heute ist sie in dem Hallschen Pulsometer unter Anbringung von bedeutenden Verbesserungen, zu denen unsere vorgeschrittene Dampftechnik befähigte, wieder ins Leben gerufen worden, mit selbstthätiger Steuerung ausgerüstet, an eine beliebige Dampfleitung anschließbar; die Nutzleistung ist trotzdem auch jetzt noch sehr gering.

Papin erfuhr 1705 durch Leibnitz Näheres über Saverys Maschine. Zweifelnd an dem Erfolg seiner eigenen Erfindung, warf er sich nun auf die Saverysche, die er in der Weise neu gestaltete, wie Fig. 10, ebenfalls etwas verschönert, zeigt, und sie in dieser Form ins Leben einzuführen trachtete. Die Maschine Saverys ist in dieser neuen Form allerdings wesentlich verbessert, indem der zwischen Dampf und Wasser eingeschaltete Kolben *NH* die nutzlose Niederschlagung des Dampfes zum Teil verhinderte. Auch machte das Aufgießen des gehobenen Wassers auf ein Wasserrad, wenn auch auf unbeholfene Weise, doch die Benutzung der Maschine für Drehbewegungen, also für allgemeinere Zwecke, möglich. Für Drehbewegung suchte Papin die Maschine auch anzuwenden, und zwar zu nichts Geringerem als zu einem Dampfschiff, bei welchem die Maschine zwei Ruderräder umtreiben sollte. Er baute zunächst das Schiff mit Ruderrädern, die von Menschenkraft gedreht wurden, und stellte mit demselben 1707 auf der Fulda gelungene Probefahrten an, was uns im Hinblick auf die oben angeführte Kenntnis Papins von dem in London von dem pfälzischen Prinzen benutzten Ruderradboot nicht wundern darf. Aufs neue faßte den wieder auflebenden Mann die Wanderlust. Freilich dürfen wir dieselbe nicht auf freiwilligen Entschluß beruhend annehmen. Es lag Zwang vor. In

seiner Versuchsstätte in Kassel hatte er den oben erwähnten Gedanken, mittelst Luftdruckes, den er durch Dampfniederschlagung hatte wirksam machen wollen, in einem Bombenwerfer, sogenannten Luftmörser, zur Ausführung bringen wollen. Bei einem Versuche im Jahre 1707 war in dem Dampftopf offenbar eine übertrieben hohe Dampfspannung entstanden, welcher zufolge das messingene Gefäß zerplatzte. Die erste „Dampfkesselexplosion“ fand statt. Sie

Fig. 10



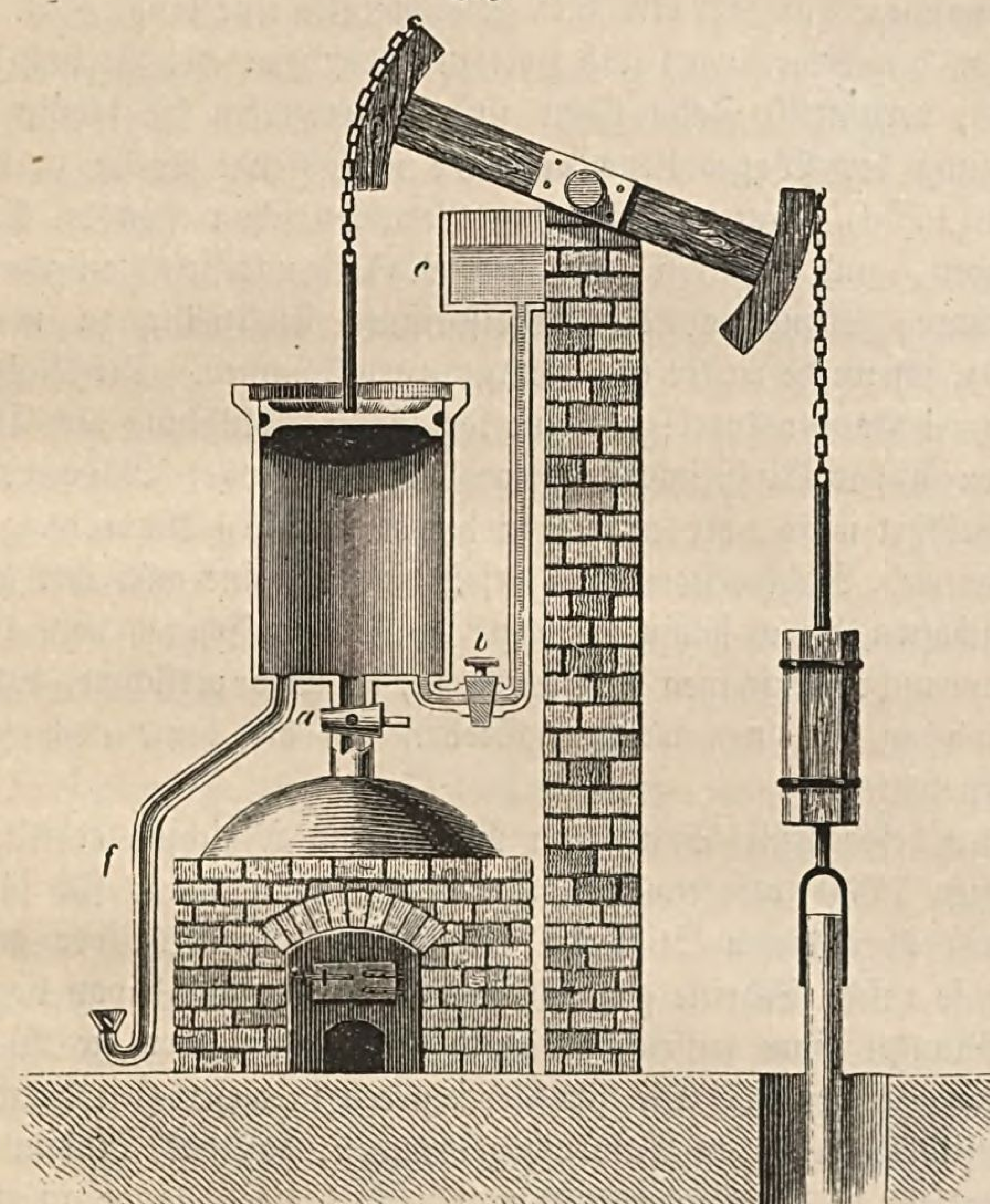
warf das Gebäude der Versuchsstätte zum großen Teil über den Haufen, verwundete mehrere Menschen tödtlich, dem einen den Kinnbacken wegreißend, und richtete überhaupt ringsum Verwüstungen an. Der Landgraf Karl, der zu dem Versuch eingeladen war, hatte sich glücklicherweise etwas verspätet; sein Zorn war aber so groß, daß er Papin sofort den Abschied erteilte. (Eine andere Ausführung des „Luftmörsers“ ist noch heute im Besitz des Kasseler Museums.) So war es denn fast eine Flucht zu nennen, daß Papin sein Schiff

zunächst mit einer Dampfmaschine auszurüsten beschloß und sich mit demselben aufmachte, um das ihm ehedem so gastliche Gestade Englands wieder aufzusuchen. Mit seinem Fahrzeug schiffte er sich auf der Fulda ein, um dasselbe hinüberzuschaffen; wohl verstanden, war es noch für Handbetrieb, nicht für Betrieb durch seine Dampfmaschine eingerichtet. In Münden angekommen, verweigerte man ihm die Fahrt auf der Weser, es entspann sich ein thätlicher Streit, und rohe Matrosen zerschlugen sein Schiff. Gänzlich mittellos und nun vollständig niedergebeugt, kam Papin mit seiner Familie in England an, wo er gegen 1714 in tiefer Dürftigkeit sein an großen Hoffnungen so reiches, an Freude von deren Verwirklichung so armes Leben beschloß.

Andere führten während der Zeit seinen erfinderischen Gedanken mit praktischem Sinn und kräftiger Hand ins Leben ein. Der Schlosser Newcomen und der Glaser Cawlay in Darmouth, die Mangelhaftigkeit einer Saveryschen „Feuerpumpe“ zum Gegenstand des Nachdenkens machend, schrieben darüber an Hooke, der ihnen die Papinsche Schrift von 1688 bekannt machte, zugleich aber auch seine Beweise der Untauglichkeit der darin vorgesehenen Maschine. Nichtsdestoweniger versuchten sie an einem Modell, die Maschine brauchbar, vor allem die Niederschlagung des Dampfes schneller zu machen, indem sie den Cylinder von außen mit Wasser begossen. Der Erfolg war ein sehr guter, und sie suchten ein Patent auf ihre Maschine nach. Auf Saverys Einspruch hin gingen die Freunde, um, als Quäker, einen Rechtsstreit zu vermeiden, mit jenem eine Verbindung ein, so daß 1705 an Newcomen, Cawlay und Savery das Patent erteilt und die „atmosphärische Maschine“ ins praktische Leben eingeführt wurde. Sie erfuhr 1712 die glänzende Verbesserung, durch Einspritzung von kaltem Wasser in den Cylinder selbst die Niederschlagung des Dampfes zu bewirken, so daß sie die in Fig. 11 angegebene Anordnung erhielt. *a* Dampfhahn, durch welchen man Dampf aus dem Kessel in den Cylinder einströmen ließ. Infolgedessen hob sich der Kolben, den das Gewicht auf der andern Seite des Wagebalkens in die Höhe zog. Nach Schließung von *a* öffnete man den Einspritzhahn *b*; kaltes Wasser trat aus dem Behälter *c* ein und verdichtete den Dampf, so daß eine

annähernde Luftleere entstand und dem Luftdruck oben auf den Kolben das Herabdrücken des Kolbens ermöglichte. *f* Auslaßrohr für das Wasser. H. Potter, ein zum Öffnen und Schließen der Hähne einer solchen Maschine angestellter Knabe, soll der Maschine selbst auch diese Arbeit übergeben haben, indem er die Handgriffe der

Fig. 11



Hähne mit bewegten Teilen durch Schnüre passend verband, und so der Erfinder der selbstthätigen Steuerung geworden sein. Genauer erwiesen ist dies bis jetzt nicht; jedenfalls ist von dem Potter später nichts mehr gehört worden. Die Steuerung wurde durch Beighton 1718 wesentlich verbessert; um diese Zeit auch wurde das schon 1705

von Papin vorgeschlagene Sicherheitsventil (*DE* in Fig. 10) durch Desaguiliers, einen in England lebenden Franzosen, praktisch eingeführt, und somit die Newcomensche Maschine in einen sehr brauchbaren Stand gesetzt, der ihr zahlreiche Anwendungen zum Wasserheben in den englischen Bergwerken verschaffte. Wenige kleinere Änderungen abgerechnet, hielt sich nun die Newcomensche Feuermaschine auf dem erreichten Standpunkte eine lange Zeit.

Von den Neuerungen sind zwei zu erwähnen: der Versuch Fitzgeralds, vermittelst Zahnrädern und Sperrwerken die schwingende Bewegung des Wagebalkens auf eine umlaufende Welle zu übertragen (1758), wozu wir aber den Gedanken schon oben bei Papin vorfanden, und die erst mit den Niederdruckkesseln aufgegebene Einrichtung Brindleys, die Kesselspeisung selbstthätig zu machen (1760); ich werde weiter unten darauf zurückkommen. Die Maschine hatte zwei Hauptmängel; der eine lag in der Abkühlung des Cylinders durch das Einspritzwasser, wodurch ein großer Wärmeverlust herbeigeführt ward, der andere in der beschränkten Anwendung auf Pumpwerke. Nichtsdestoweniger besaß die Maschine auch ihre guten Eigenschaften, die es dahin brachten, daß in Deutschland noch 1837 Newcomensche Maschinen arbeiteten; ja, es wird versichert, daß in England an einzelnen wenigen Stellen sich bis heute noch solche erhalten hätten.

Der besprochene Stand von Newcomens Maschine erhielt sich bis gegen 1770, also etwa 60 Jahre, und man könnte sich füglich wundern über diesen Stillstand des Erfindungsgeistes, der gerade vorher so rasche Schritte gemacht hatte. Die Ursache davon liegt in dem Mangel einer wissenschaftlichen Anschauung über die Wärme und ihre Benutzung. Die Physiker wurden in dieser Zeit durch die Elektrizitätslehre so in Anspruch genommen, daß das Studium der Wärme sehr in den Hintergrund trat. So hatte es lange an einem zuverlässigen Hilfsmittel zum Wärmemessen gefehlt. Dieses bildete sich von dem Kupferlösungsthermometer an, welches der Holländer Drebbel (1650) anwandte, nach Neueren aber nicht erfunden hätte, langsam aus, bis 1714 der Danziger Fahrenheit das Quecksilber als Meßflüssigkeit anwandte; ihm folgte 1730 der Franzose Réaumur mit einer andern Einteilungsart, und endlich 1741 der Schwede

Celsius mit dem hundertteiligen, zu allen wissenschaftlichen Arbeiten heute gebrauchten Thermometer. Um 1760 wurde auch endlich die Wärmetheorie durch Joseph Black, Professor an der Universität Glasgow, um den lange entbehrten Fortschritt weiter gebracht, der ihre praktische Verwertung bis dahin so unsicher gemacht. Black ist es, der die Lehre von der freien und gebundenen (sensibeln und latenten) Wärme, sowie die von der spezifischen Wärme aufstellte, und sie von 1763 vor einer zahlreichen Zuhörerschaft an der Universität Glasgow vortrug. Unter seinen eifrigsten Schülern befand sich auch der Mann, der alsbald die neue Lehre siegreich ins Leben einführen sollte, Jakob Watt.

Einer guten, aber durch verfehlte kaufmännische Unternehmungen um ihren Wohlstand gekommenen schottischen Familie angehörig, mußte James Watt, geb. 1736 zu Greenock, mit sechzehn Jahren die ihm bestimmte wissenschaftliche Laufbahn verlassen, um in Greenock in der Werkstätte eines Kleinmechanikers dessen Geschäft zu erlernen; vier Jahre später trat er in London in eine ähnliche Werkstätte ein, wurde aber durch eine Krankheit genötigt, heimzukehren. Als er sich darauf in Glasgow selbständig einrichten wollte, verweigerten ihm die Zunftgenossen hierzu die unentbehrliche Genehmigung; allein die Universität nahm sich seiner an, indem sie ihm die Ausbesserung ihrer physikalischen Instrumente übertrug (1756), mit der Gestattung, im Universitätsgebäude einen kleinen Laden neben seiner Werkstätte zu errichten. Bald erkannte man aber, daß man in dem bescheidenen Mechaniker einen leuchtenden Geist unterstützt hatte und nach nicht langer Zeit wurde der kleine Laden im Universitätsgebäude der Vereinigungspunkt der bedeutendsten wissenschaftlichen Männer Glasgows. Mit einer seltenen Geistesschärfe durchdrang Watt die Fragen, die sich ihm als wichtig und anziehend aufdrängten. Die ihm (1763) übertragene Ausbesserung des Modells einer Newcomenschen Maschine gab ihm Gelegenheit, diese seine Gabe auf die wichtige Aufgabe der Dampfmaschine anzuwenden, und sein Nachdenken wurde von dem schönsten Erfolge gekrönt. Er verbesserte die Maschine Schritt für Schritt, und sah sich bald tief in diese wichtigste, zukunftreichste aller technischen Aufgaben verwickelt. 1764 verließ er seine Stellung an der Universität,

um als selbständiger Ingenieur zu arbeiten, und sich mit mehr Muße seinen Liebingsstudien hinzugeben. 1765 machte er seine bedeutendste Erfindung, die des getrennten Kondensators nebst der Luftpumpe, gab dem Cylinder einen schützenden Mantel, und ließ auch statt der abkühlenden Luft den Dampf über den Kolben treten. Nach vielen Modellversuchen gelang es ihm auch, eine größere Ausführung (auf einer Grube bei Kinneil) mit ausgezeichnetem Erfolge zu Stande zu bringen, worauf er (1769) für seine Erfindungen den Patentschutz erwarb. 1774 verband er sich mit Boulton zur Anlegung einer Maschinenfabrik in Soho, und mit diesem regen Geiste und klaren Kopfe vereint, vervollkommnete und verbreitete er nun mehr und mehr seine Maschine. 1784 Erfindung des „Parallelogramms" zur Geradführung des oberen Endes der Kolbenstange; 1780 aber schon die Einführung von Kurbel und Schwungrad in die Dampfmaschine zur Umsetzung der auf- und abgehenden Bewegung in die drehende. Durch diese Weiterbildung, welche wir bei Papin schon vorgesehen, bei Fitzgerald dem Papinschen Gedanken gemäß ausgeführt finden, die aber durch die Benutzung der Kurbel sich erst recht eigentlich praktisch gestaltete, war der Dampfmaschine ein neues unabsehbares Feld eröffnet, indem sie nun von der einseitigen Anwendung in den Bergwerken hinaus zu der buntesten Mannigfaltigkeit von Benutzungen jeder Art verpflanzt wurde.

Einen Augenblick muß ich bei der Kurbel- und Schwungrad-Angelegenheit stehen bleiben, da Manche ihretwegen viel zu weit in der Lobpreisung von Watts Erfindergeist gegangen sind. Allzuviel ist auch hier ungesund, verdunkelt nämlich das Verständnis. Seit 1758 war Fitzgeralds Gesperrvorrichtung — ein Schaltwerk nennen wir es heute — im praktischen Gebrauch, zeigte aber Mängel, nutzte sich rasch ab, ging leicht entzwei. 1779 suchte der Maschinenbauer Wasbrough in Bristol dasselbe zu verbessern, was namentlich durch Anbringung eines Schwungrades auf der Welle geschah; 1780 änderte einer der Leute Wasbroughs die Vorrichtung, die immer noch Schwierigkeiten bereitete, dahin ab, daß er Pleuelstange und Kurbel an die Stelle der Klinkenvorrichtung setzte. Der Erfolg war überraschend gut. Man hat von Veruntreuung gesprochen, die an Watt hier begangen worden sei, der den-

selben Gedanken schon im Modell ausgeführt gehabt; nichts davon ist aber irgend erwiesen. Watt sah sich nur durch Wasbroughs Patent vorgegriffen und ersann deshalb mehrere Vorrichtungen anderer Art für denselben Zweck, darunter das sogenannte Planetenrad, ging aber 1784, wo Wasbroughs Patent erlosch, wieder auf das einfache Kurbelgetriebe zurück. Bemerkt muß aber noch werden, daß damals weder das Schwungrad, noch auch das Kurbelgetriebe, angewandt zu dem Zweck der Umsetzung von Hub- in Drehbewegung, neu war. Schon 1561 beschreibt Agricola Schwungmassen bei Wellen, die mittelst Handkurbeln umgetrieben werden, 1661 Böckler vollständige Schwungräder für denselben Fall. Sehr alt war schon die Ableitung einer Hubbewegung von der Drehbewegung der Kurbel, allein auch das Umgekehrte: die Betreibung einer Kurbel von einem schwingenden Hebel aus, wie bei Böckler in einer Reihe von Beispielen zu ersehen. Es handelt sich gewöhnlich um Mühlsteinbetrieb; das Schwungrad ist stets dabei und wird auch mit diesem Namen genannt, auch dann, wenn statt des Ringes einzelne Schwungmassen an Speichen ringsum verteilt sind. Also schon 120 Jahre vor Wasbrough und Watt war der Gedanke, von einem schwingenden Hebel aus mittelst Pleuelstange und Kurbel einer mit Schwungrad versehenen Welle Drehbewegung zu erteilen, nicht nur bekannt, sondern auch in trefflicher Weise durch Druck und Stich dargestellt. Es ist demnach gänzlich müßig, Watt die Erfindung dieser Einrichtung zuschreiben zu wollen; man sollte auch nicht vergessen, daß ja die Scheerenschleifer schon dazumal auf der Straße dasselbe Getriebe benutzten. Klar wird aus der Angelegenheit nur, wie langsam, wie schwerfällig damals ein vorhandener technischer Gedanke von Fall zu Fall übertragen wurde, d. h. wie schwer sich die Begriffe über die mechanischen Getriebe von der Stelle, wo diese angewandt waren, lostrennten.

Mit der Lösung der Drehbewegungsaufgabe war die Wattische Dampfmaschine zu einer großen Vollkommenheit gebracht, in welcher sie durch die noch weiter unten anzuführenden Verbesserungen in Einzelheiten noch mannigfach gesteigert wurde, ihren eigentlichen Grundgedanken aber hatte sie in einem hohen Grade verwirklicht.

Der Grundgedanke der Wattischen Maschine ist nämlich, um es zu wiederholen, kein anderer, als die Benutzung des Dampfes zur Herstellung der Leere, des luftverdünnten Raumes, derselbe Gedanke, den Torricellis Quecksilbersäule ahnen ließ, den Gerickes Versuche angeregt, dessen Verwirklichung Papins Erfindung gesichert hatte. Man benutzte statt der heute scheinbar sich zu allernächst darbietenden Macht des Druckes des Dampfes gerade diejenige Eigenschaft desselben, welche die Abwesenheit von Druck hervorruft, und dieses ist das wahre Kennzeichen, daß die Dampfmaschine nicht auf Grundlage der trüben und planlosen Beobachtungen der alten und ältesten Zeit geschaffen wurde, sondern daß sie ein echter Sprößling der neueren Wissenschaft ist, deren Geburtsstunde wir oben mit Torricellis geistreicher Entdeckung zusammenfallend fanden. Nicht also der glückliche Gedanke eines Einzelnen, sondern das Ergebnis langer Denkarbeit Vieler ist die Dampfmaschine; man verdankt sie nicht dem Einfall „eines seiner Zeit vorauseilenden Genies“, sondern einer durch den richtigen Anstoß ermöglichten, arbeitsvollen Erweiterung des menschlichen Gedankenkreises, welche eine ganze Reihe unbekannter Größen erst ermitteln mußte, ehe sie zu einem bestimmten Ziele gelangen konnte.

Gerade aber, weil mit der vollendeten Wattischen Maschine ein Abschnitt in der Entwicklung der Dampfmaschine erreicht ist, möchte ich versuchen, das Begriffliche in der Gestaltung von Papins Schöpfung auszusondern und es von der Form, die ihr ein volles Jahrhundert gegeben hatte, loszulösen.

* * *

Papins Verfahren bei seiner atmosphärischen Maschine war richtig, aber für die praktische Betreibung der Maschine viel zu umständlich. Der Wärter sollte nach jedem Aufhub des Kolbens das Feuer, sagen wir den Feuerrost, wegziehen, später ihn wieder unterstellen. Auf die Niederschlagung des Dampfes mußte er warten, weshalb Papin die „Röhren“ leicht, das ist dünnwandig hergestellt wissen wollte, damit die Abkühlung rascher vor sich gehen könne. An diesen beiden Punkten griffen Newcomen, Cawley und Savery

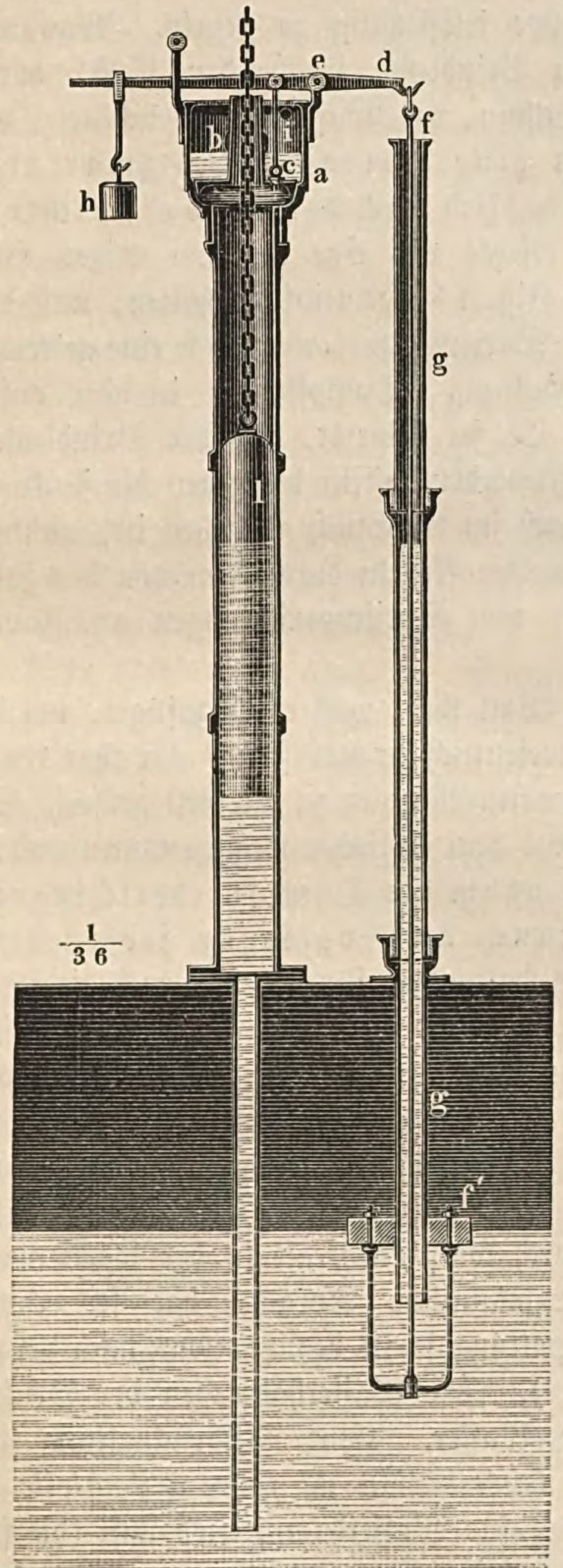
verbessernd ein. Zunächst setzten sie unter den Cylinder einen Kessel, worin durch dauerndes Heizen Dampf entwickelt wurde, von dem man sodann unter Vermittelung eines Hahns (*a*) die für einen Aufhub erforderliche Menge entnahm. Es ist also eine getrennte, besondere Einrichtung zur Dampfbeschaffung angewandt, deren etwaige Unregelmäßigkeiten der Wärmezufuhr, wenn diese nur durchschnittlich ausreichte, im Cylinder gar nicht zur Wirkung kam. Eine ähnliche Einrichtung ist jeder Wasserbehälter einer Wasserleitung, aus der man nach Bedarf durch Öffnen eines Hahns Wasser entnimmt, in Städten viel tausendemal täglich, ja stündlich, einmal viel, einmal wenig. Eine Haltung kann man eine derartige Einrichtung nennen. Haltungen sind auch die Weier an Wasserradanlagen zur Aufnahme des Oberwassers zu den Zeiten, wo das Rad stille steht. Eine Haltung ist auch der Gasometer oder Gasbehälter, von den Engländern richtig Gashalter genannt, welchem wir abendlich durch Öffnen von Hähnen Gas zur Beleuchtung entnehmen, während die Füllung durch Gaszuführung in der Gasfabrik vorwiegend am Tage geschieht. Eine Haltung, und zwar für hochgespannte Luft, ist der Windkessel der Feuerspritze, in welchem das ruckweise stattfindende Einpumpen unter Zusammenpressung von Luft das Wasser unstetig einführt, während durch Schlauch und Strahlrohr der Feuerwehrmann je nach Bedarf einen stärkeren oder schwächeren Strahl stetig abfließen läßt. Bei der Haltung Dampfkessel mußte sowohl Wasser als Wärme zugeführt werden, da man ihr mit Wärme beladenes Wasser entzieht. Die Entnahme des Wärmeträgers Dampf geschah für jeden Kolbenhub durch Öffnen eines Sperrhahnes; die Wärmezuführung durch das nach Bedarf bewirkte Heizen des Kessels mit Brennstoff auf dem Rost, die Wasserzuführung oder Speisung durch gelegentliches Öffnen eines Hahnes, der aus einem hochgelegenen Behälter Wasser empfing.

Dieser hochgelegene Behälter (*c* in unserer Fig. 11) stellt aber offenbar wieder eine Haltung vor. Dieselbe Haltung dient zugleich zur zweiten Newcomenschen Verbesserung, zur Zuführung des Einspritzwassers (durch Hahn *b*, Fig. 11), anfangs, nämlich bis 1712, in anderer Weise als die Figur angiebt. Die Abkühlung geschah durch Zulassung des Kühlwassers zwischen Cylindermantel und Cylinder

wodurch man die, ganz zu Anfang durch Umschlagung von nassen Tüchern erzielte Abkühlung wesentlich beschleunigt hatte. Noch zu einem dritten Dienst benutzte man die Haltung *c*. Da der Kolben in der ersten Zeit nicht besonders dicht hergestellt werden konnte, ließ man — wiederum mittelst eines Hahnes — oben auf den Kolben Wasser aus dem Behälter *c* treten, ganz wie Otto von Gericke bei seinem oben erwähnten Versuch in Augsburg, das dann die kleinen Undichtigkeiten schloß. Der Behälter *c* stellt also eine dreifach gebrauchte Haltung, wenn man will: drei Haltungen dar. Im ganzen ließen also Newcomen und Cawley vier Haltungswirkungen an die Stelle der bei Papin noch nötigen vier zusammengesetzten Thätigkeiten des Wärters treten. Die erwähnte Wasserschicht auf dem Kolben, die den dichten Verschluß zu erhalten hatte, fand einstmals durch eine zu groß gewordene Undichtigkeit des Kolbens Eingang in den Cylinder, in welchen sie in Form eines Strahls einspritzte, da sie ja Verdünnung erzeugte; die Niederschlagung geschah dabei ungleich rascher, als früher durch die Mantelkühlung geschehen war, und so kam man denn 1712, wie schon erwähnt, zu der Einspritzniederschlagung, die vom selben Behälter *c* her das Wasser empfing, durch Hahn *b*, wie in Fig. 11 dargestellt ist.

Wenn man sich als Beobachter zurückversetzt in jene Zeit des Versuchens an einer Feuermaschine des ersten Jahrzehnts nach 1700, so erkennt man, daß die Maschine sehr langsam gehen mußte, der Kolben nämlich wegen der Allmählichkeit der Dampfniederschlagung nur langsam herabschleichen konnte, und daß beträchtliche Pausen verliefen, ehe der Hubwechsel, sei es oben, sei es unten, stattfand, daß demnach auch der Wärter Zeit genug hatte, die beiden Hähne *a* und *b* jedesmal zu stellen, gelegentlich auch den Speisehahn. Als aber vermöge der Einspritzung die Maschine den Abwärtshub sehr viel schneller vollzog, wurde das Wärteramt unbequem, weshalb denn auf die selbstthätige Hahnbetreibung, die „Steuerung“ hingearbeitet wurde. Man sieht, wie eingreifend die Bedürfnisfrage Schritt für Schritt zu den weiteren Gestaltungen führte, wobei kleine Zufälligkeiten auch noch mithalfen, die Verbesserungen zu ermöglichen.

Fig. 12



Bis etwa 1760 ging die Newcomensche Dampfmaschine, nachdem vermöge Beightons Verbesserungen seit 1718 auch die Steuerung ganz gut geworden, bis gegen 1770 als anerkannt gute Pumpmaschine. Zehn Jahre vorher, neune vor Watts Eingreifen, war noch der Brindleysche Kesselspeiser hinzugekommen, der aber noch erwähnt zu werden verdient. Fig. 12 stellt ihn dar. Aus einem Behälter *a*, dem eine Pumpe stets ausreichend Wasser zuführt, wird durch ein Ventilchen *c* Wasser in ein Standrohr eintreten gelassen, sobald der Schwimmer *f'*, der mit dem Wasserspiegel im Kessel steigt und sinkt, eine so tiefe Stellung einnimmt, daß das Gestänge *f'fde* genanntes Ventilchen hebt. Der geringe Dampfdruck im Kessel trieb die Wassersäulen in den beiden Standröhren etwas hinauf, doch nur so viel, daß die beiden Wassersäulen als flüssige Ventile dem Dampf den Ausgang versperrten. Der Schwim-

mer *l* ist eine spätere und nicht wichtige Zuthat; er dient dazu, die Stellung der Schornsteinklappe selbstthätig zu regeln. Was wir in der hübschen Einrichtung Brindleys, welche den Kessel höchst regelmäßig, ohne äußeres Zuthun, vor Wassermangel behütete, vor uns haben, ist wiederum eine Haltung und zwar eine solche mit selbstthätigem, sich nach dem Bedarf richtendem Auslaß. Brindley ersetzte also eine der drei obigen Haltungen, die den Behälter *c*, Fig. 11, gemeinsam hatten, und das willensthätige Eingreifen des Wärters erforderte, durch eine getrennte und von dem Wasser der Haltung „Dampfkessel“ in oder außer Wirkung gesetzte Haltung. Es sei bemerkt, daß der Brindleysche Speiser, der mit den letzten Niederdruckkesseln bis gegen die fünfziger Jahre dieses Jahrhunderts noch im Gebrauch geblieben ist, unübertroffen dasteht, ja bei den Hochdruckkesseln durch keine von den zahlreichen, vielleicht Hunderten von Speisevorrichtungen an Zuverlässigkeit erreicht worden ist.

Was war es nun, was Watt that, was er hinzufügte, um die Maschine, wie wir sahen, so wesentlich zu verbessern? Er that etwas dem Ähnliches, was die Newcomen-Männer zu allererst gethan. Sie hatten die Dampferzeugung aus dem Cylinder weggenommen und in eine Haltung verlegt: Watt nahm die Dampfniederschlagung aus dem Cylinder heraus und verlegte sie in eine Haltung. So gut wie es Haltungen für hohen Druck giebt, so giebt es auch begreiflicherweise solche für tiefen Druck. Beispiele liefern in ungezählter Menge die Bergwerke, in denen unten auf dem Grund der Grube der Wasserdruck um die ganze Zahl der Atmosphären niedriger oder tiefer als zu Tage gehalten wird, um welche, in Wassersäulen von 10 *m* gemessen, die Grubensohle unter Tag liegt. Das geschieht durch Maschinenkraft in der sogenannten Wasserhaltung. Unsere bergmännische Sprache hat seit Jahrhunderten hier den Namen Haltung schon benutzt (was mich veranlaßte, ihn zu verallgemeinern). Die Wasserhaltungen der Gruben sind Tiefdruckhaltungen für Wasser. Eine Tiefdruckhaltung für Luft ist die oben erwähnte *Distribution de force à domicile* in Paris. Eine Tiefdruckhaltung für Wasserdampf und Luft (die sich dem Speisewasser fast immer beigemengt findet) ist der „Konden-

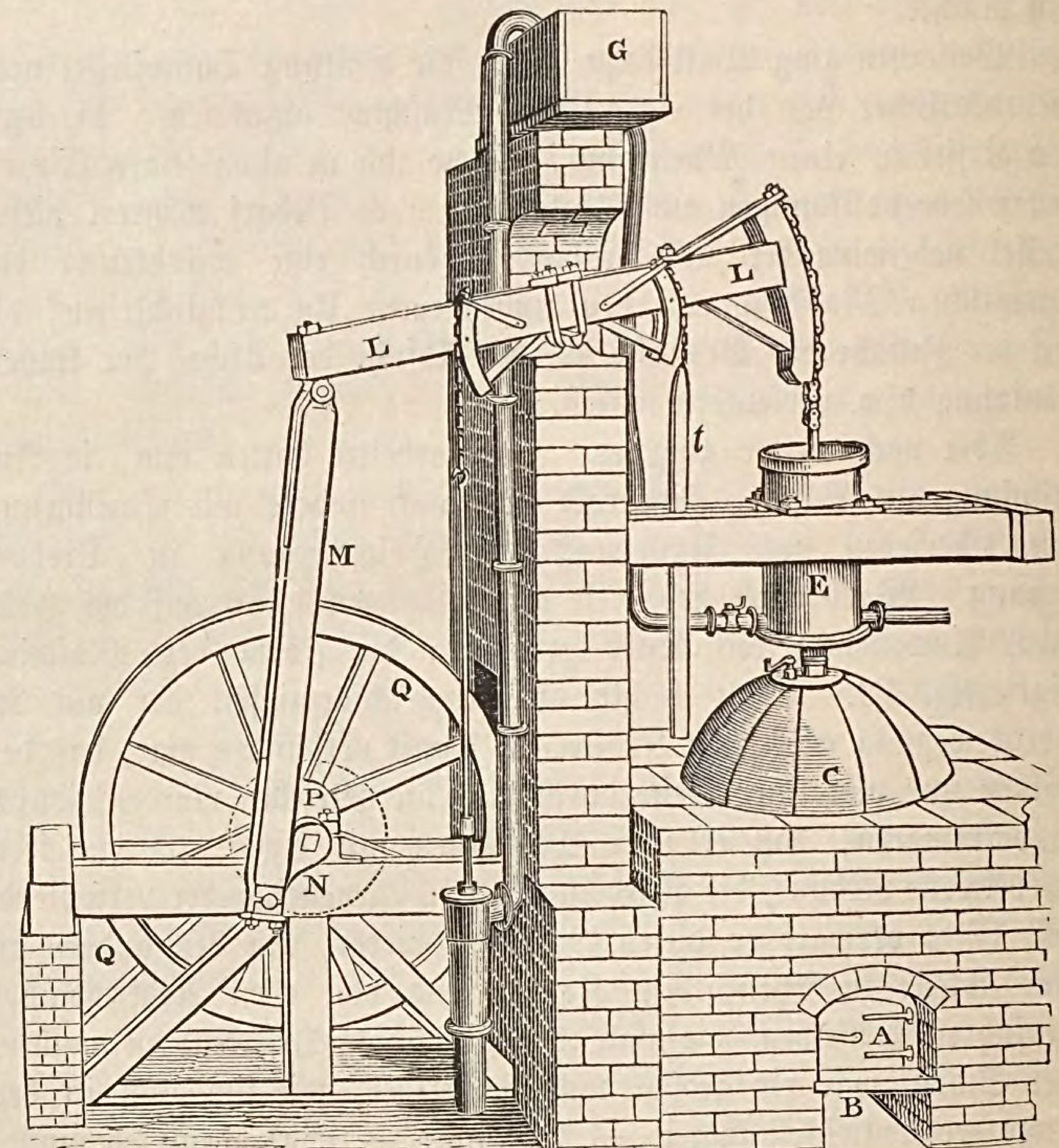
sator“ der Dampfmaschine, dem die Luftpumpe, oder wenigstens eine Vorkehrung zur Entfernung der Luft, nicht fehlen darf. Wir sehen somit Watt zu den bereits vorhandenen vier Haltungen noch eine fünfte, sehr wichtige, hinzufügen. Ihre Wichtigkeit beruht darin, daß sie den Cylinder von den gewaltigen Wärmewechseln frei hält, welche die ältere Arbeitsweise mit sich brachte.

Weiterhin ging Watt dazu über, die Haltung Dampfkessel noch viel deutlicher von der eigentlichen Maschine abzulösen. Er legte den Kessel in einen Nebenraum, bildete ihn in allen seinen Einzelheiten sehr vollkommen aus, legte auch nach Bedarf mehrere dieser Kessel nebeneinander und gewann dadurch eine Säuberung der eigentlichen Maschine von den unbequemen Unzuträglichkeiten, die mit der Zufuhr des Brennstoffes, der Abfuhr der Asche, der Kesselreinigung usw. verbunden waren.

Aber noch weiter ging er. Vorgearbeitet hatten ihm, in Anknüpfung an Papin, Fitzgerald und auch andere mit Einführung von Getrieben zur Umsetzung der Hubbewegung in Drehbewegung. Wasbrough hob diese Einrichtungen 1780 auf die Höhe durch Anwendung des Kurbelgetriebes; die Form der Maschine zeigt Fig. 13. Watt suchte die Ungleichförmigkeit der auf die Drehbewegung wirkenden Kräfte, die damit verbunden war, daß der Kolben nur von einer Seite durch die Luft getrieben wurde, dadurch zu vermindern, daß er zwei Maschinen mit einer und derselben Kurbelwelle verband, die Kurbeln um 120° gegeneinander verstellend. Erst 1784 verwarf er diesen Gedanken wieder, um den andern an seine Stelle zu setzen, dem Kolben auch von oben Arbeitsdampf zuzuführen, denselben, wie man es nannte, doppeltwirkend zu machen. Der Schritt war ein großer und schwieriger, wie sich auch in der Länge der Entwickelungszeit — 14 Jahre — zeigt; denn es mußte der Gedankengang erst durchgeführt werden, daß auch in dem schwach gespannten Kesseldampf die Spannkraft des Luftdruckes, sogar etwas mehr, vorhanden war. Daß dieser Gedanke Zeit zur Entwicklung gebraucht, zeigt sich daran, daß Watt schon bei der einfachwirkenden Maschine Dampf über den Kolben geführt hatte (s. S. 34), aber bloß um die abkühlende Wirkung der äußeren Luft auf die Innenfläche des

Cylinders zu vermeiden. Ein Hauptgedanke war und blieb aber immer noch die Anwendung des Schwungrades. In demselben haben wir aber wiederum eine Haltung vor uns. Diesesmal nicht eine Haltung für Dampf- oder Wasserdruck, sondern eine solche für lebendige Kraft. Das

Fig. 13



Schwungrad giebt solche ab, wenn der Umfangsdruck auf die Kurbel kleiner wird, als erforderlich, und nimmt solche auf, wenn derselbe größer wird, beidemal ohne erhebliche Änderungen der Drehschnelle.

So sehen wir zu den vier Haltungen der Newcomen-Maschine noch zwei weitere, äußerst wichtige und in ihren Wirkungen folgen-

reiche, durch Watt und Wasbrough hinzugeführt, außerdem die Verwendung des im Dampfe vorhandenen, dem äußeren Luftdruck mindestens gleichen, gewöhnlich denselben etwas übersteigenden Druck der gasförmigen Flüssigkeit Dampf.

Gleichzeitig mit der sogenannten Doppeltwirkung des Kolbens führte Watt auch einen Gangregler, seinen „Regulator“ ein. Das Schwungrad vermochte nicht diejenigen Ungleichförmigkeiten auszugleichen, welche von den Verschiedenheiten der Entnahme von Kraft, die das getriebene Maschinenwerk aufbrauchte, herrührten. Er beseitigte diese, oder vielmehr schränkte sie ein auf einen kleinen Wert durch seinen „Schwungkugelregulator“, dem er die merkwürdige Bezeichnung Hubstrecker (*lift-tenter*) gab; eine Erklärung dieses Ausdruckes bleiben uns auch seine Lebensbeschreiber schuldig; vielleicht war gemeint, daß das Schließen der Drosselklappe den Hub länger streckt, das ist verlangsamt. In diesem Gangregler haben wir abermals eine Haltung zu erblicken und zwar eine solche für lebendige Kraft. Sie unterscheidet sich vom Schwungrad aber wesentlich dadurch, daß sie sehr empfindlich gegen Änderungen der Schnelle gemacht wird. Daß man im „Schwungkugelregulator“ eine Haltung vor sich hat, zeigt sich auch darin, daß man die Aufgabe sowohl durch Wasserdruckhaltung (hydraulischer Regulator von George, neuerdings auch von R. Marggraff) als durch Winddruckhaltung (pneumatischer Regulator von Molinié), zu lösen gesucht hat. Eine ganze Zahl von Verbesserungen der einzelnen Betriebe fügte Watt der Maschine noch bei, von deren weiterer technischen Ausbildung er sich mit dem Beginn des neuen Jahrhunderts zurückzog.

Nachdem wir so untersucht haben, was eigentlich das Wesen der Ausgestaltungen der Dampfmaschine von deren Erfindung durch Papin an bis zu ihrer vollen Ausbildung durch Watt bestand, stellt sich uns noch eine ganz andere, aber nicht minder wichtige Frage entgegen, die, worin die Dampfmaschine ihrer ganzen Wirkungsart nach sich von andern, zu Papins Zeiten schon bekannten Kraftmaschinen so stark unterscheidet, wie wir doch deutlich empfinden.

Dieser Unterschied ist in der That bedeutend und der bestimmten Feststellung wert. Schon sehr lange, wohl schon über anderthalb

Jahrtausende, gab es Wasserkraftmaschinen in der Form von Wasserrädern, auch Kreiselrädern und Ähnlichem, außerdem auch Windräder verschiedener Art, im erstern Falle die Betriebskraft einer tropfbaren, im andern einer gasförmigen Flüssigkeit entnehmend. Andrerseits gab es auch für beide Maschinen, welche sie beförderten, Wasserschöpfräder, Windfachen, sodann Wasserpumpen, Luftbeförderungspumpen, nämlich Blasbälge, Kastengebläse, auch gewöhnliche Kolbenpumpen, wie wir ja bei Otto v. Gericke sahen, der mit der wasserleeren Feuerspritze Luft verdünnte. Auffallen dürfte uns, daß die Schöpfräder umgekehrt laufende Wasserräder, die Windkrafträder umgekehrt laufende Windfachen sind, daß also die zwei Anwendungen derselben Vorrichtung einmal zum Treiben von Wasser, Luft u. s. w. dienen, das anderemal, wenn die Flüssigkeiten die Oberhand haben, von diesen getrieben werden. Solche Erfahrung lag sogar vom Dampf vor, wenn man ihn auch für Luft gehalten, in dem Kreiselrädchen Herons und dem Schaufelrädchen Braucas. Aber die umgekehrt laufende Ventilpumpe für Wasser und Luft war nicht da. Dieses fehlende Gegenstück der Ventilpumpe bei umgekehrter Betriebsrichtung stellt aber die Dampfmaschine, als zwangläufiges Werk genommen, dar.

Das Bilden dieses Gegenstücks war ungemein schwierig. Betrachtet man die Wasserpumpe, Fig. 14, welche ein Saugventil b und ein Kolbenventil b_1 besitzt, so erkennt man, wie ihr Kolbenventil jetzt, wo den Kolben eine äußere Kraft abwärts führt, durch den Wasserdruck offen gehalten wird. Öffnete man aber bei derselben Kolbenstellung vermittelst irgend einer Vorrichtung das Ventil b, so würde das Wasser nach unten abströmen, dabei das Ventil b_1 schließen und den Kolben nach unten treiben. Schlösse man darauf, wenn der Kolben unten angekommen, das Ventil b und öffnete, ebenfalls vermittelst einer geeigneten Vorrichtung, das Ventil b_1, so würde ein an dem Betriebshebel angebrachtes Gegengewicht den Kolben nach oben bewegen. Wiederholte man regelmäßig das künstlich herbeigeführte Ventilspiel, so würde aus dem Ganzen eine durch Wasser getriebene Kraftmaschine werden, vorausgesetzt, daß von oben stets Wasser zuflösse. Damit hätten wir aber das erwähnte Gegenstück der Ventilpumpe, in welchem das Wasser treibend wirkt, statt

getrieben zu werden, vor uns. Dieses Gegenstück ist es, was gegen Ende des 18. Jahrhunderts zur sogenannten Wassersäulenmaschine ausgebildet worden ist. Ein ebensolches Gegenstück zur Ventilpumpe ist aber auch die einfach wirkende Dampfmaschine; in ihr ist die Vereinigung von Vorrichtungen zur geeigneten Eröffnung und Schließung der Ventile das, was wir die Steuerung nennen.

Fig. 14

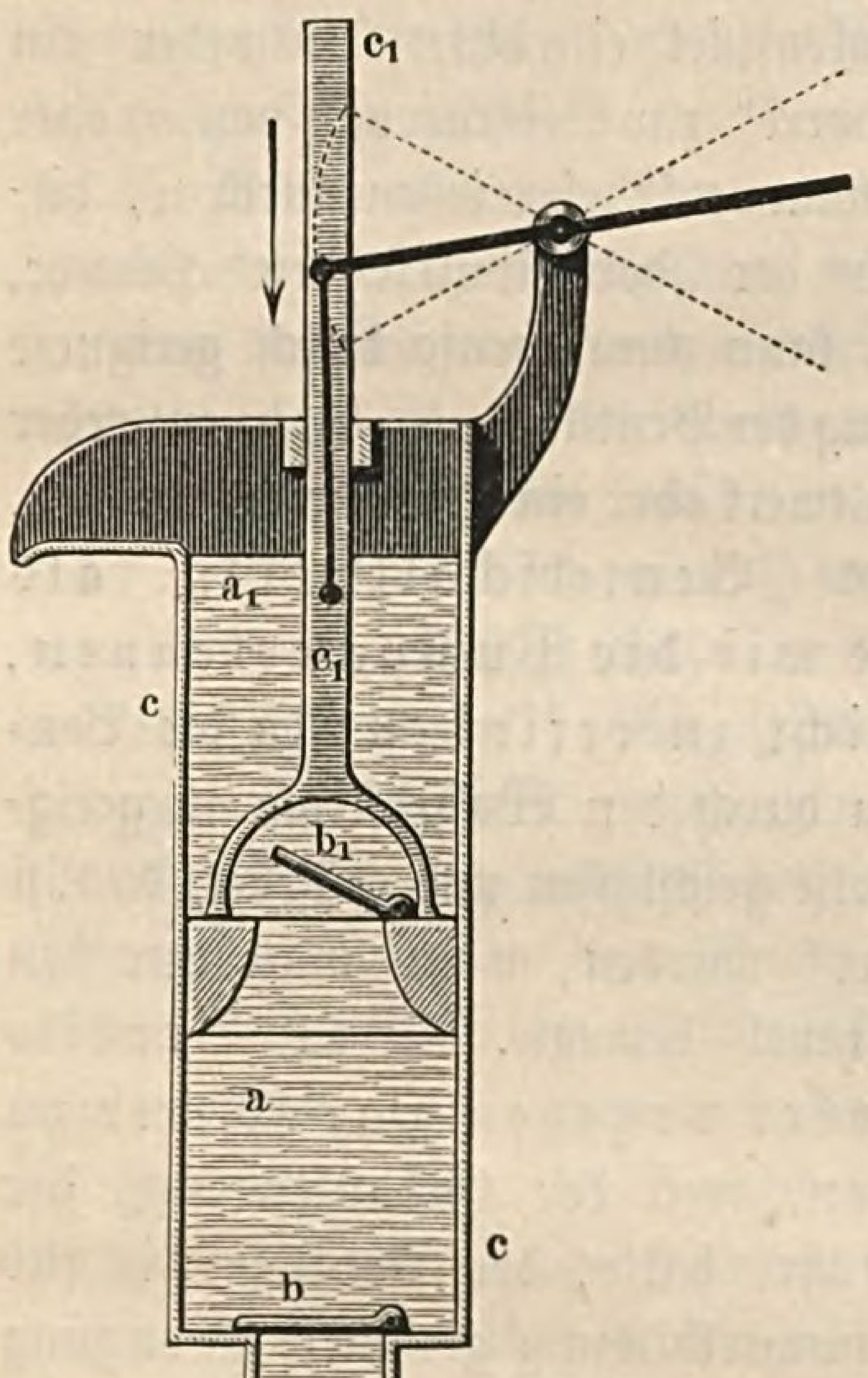
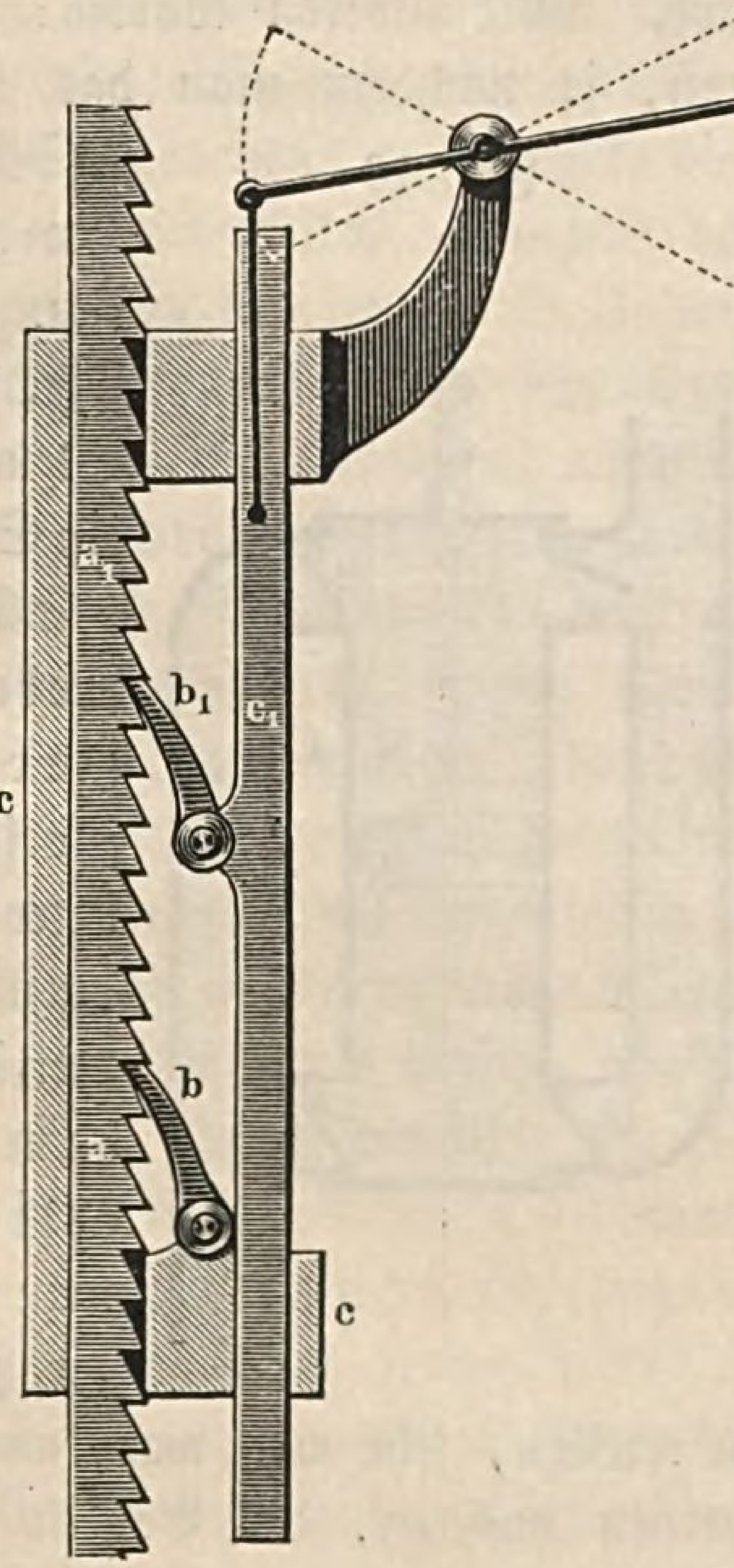


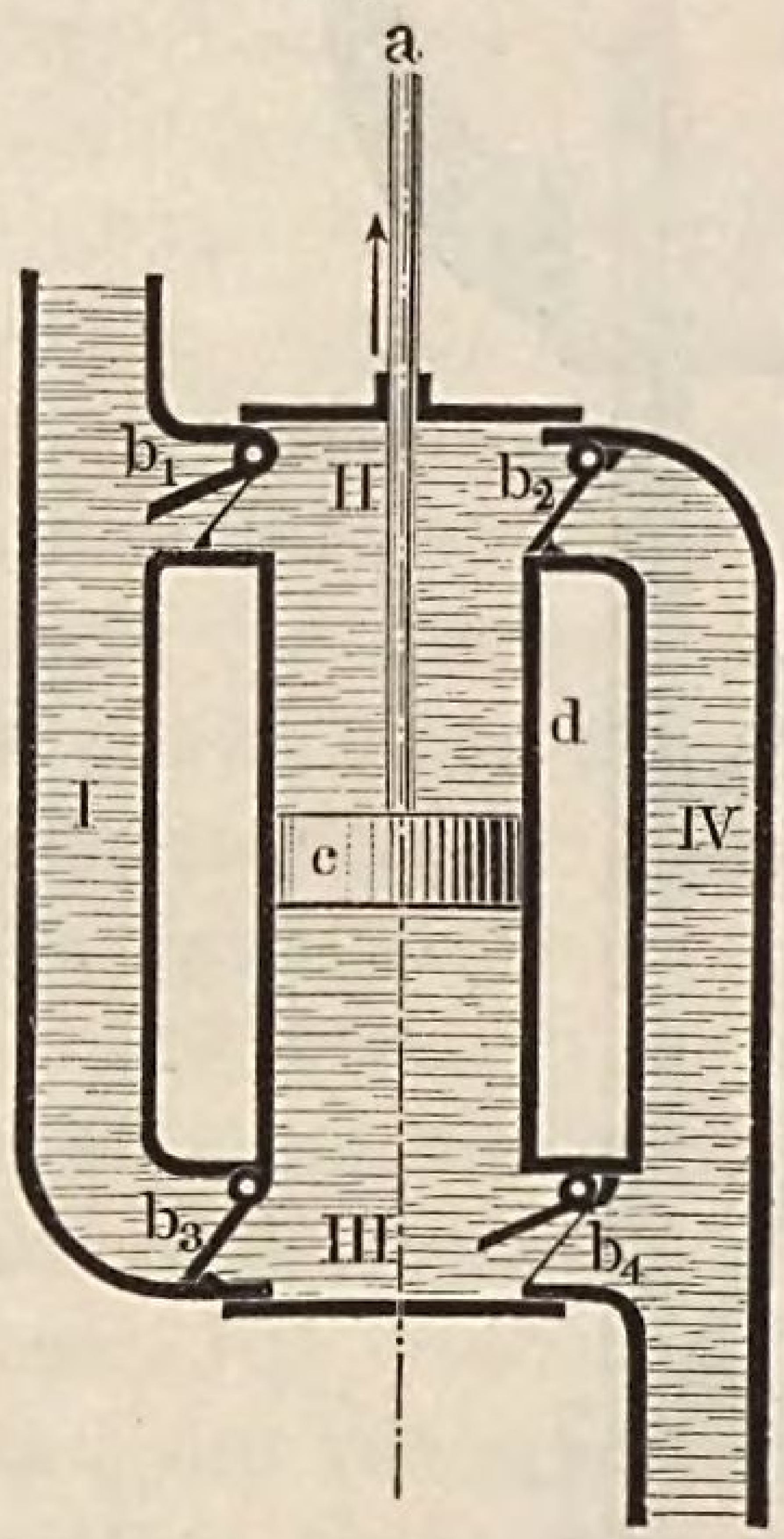
Fig. 15



Die Ventile sind, wie ich an andern Orten nachgewiesen, nichts anderes als Sperrklinken, und zwar Sperrklinken für Flüssigkeit. Das Gesperrwerk, Fig. 15, stellt ein der besprochenen Pumpe ganz ähnlich wirkendes Getriebe dar. Statt einer Wassersäule sperren die Klinken b und b_1 hier eine gezahnte Stange. Setzt man den Klinkenträger c_1 in auf- und niedergehende Bewegung, so wird die Stange a aufwärts geschaltet, das Ganze ist dann ein Schaltwerk.

Würde man aber auch hier durch eine „Steuerung“ die Klinke b auslösen, so würde das Gewicht der Zahnstange den Klinkenträger abwärts treiben, und, wenn am Hubschluß b eingeklinkt, b_1 gelöst würde, könnte durch ein Gegengewicht der Klinkenträger nach oben bewegt, und darauf das Spiel wiederholt werden. Das Getriebe wäre dann das, was man ein Hemmwerk nennt, weil die niederwärts gehende Stange nach jedem halben Hebelspiel aufgehalten, „gehemmt“ wird. Mit anderen Worten: aus dem vorliegenden Getriebe kann man, je nachdem man das Klinkenspiel einrichtet, entweder ein „Schaltwerk“ zur Beförderung von a, oder ein „Hemmwerk“, betrieben durch a, bilden. Aus der „doppeltwirkenden“ Pumpe, Fig. 16, kann man ebenso durch geeignete Steuerung der Ventile b_1, b_2, b_3, b_4 entweder ein Schaltwerk oder ein Hemmwerk machen.

Fig. 16



Das Ventilschaltwerk, als welches wir die Pumpe erkennen, war leicht zu erfinden, da die Ventile schon durch den Wasserstrom in geeigneter Weise geschlossen und geöffnet, das ist „gesteuert“ wurden, wenn man nur den Betriebshebel bewegte. Das Ventilhemmwerk dagegen war schwer zu erfinden, weil der Gedankengang, der dazu geführt hätte, den Ventilen die für die Hemmwerkbildung geeignete Bewegung zu erteilen, sehr weit war, auch besondere Einrichtungen ausgedacht werden mußten, die Ventile zu bewegen. Deshalb wurde erst 2000 Jahre nach dem Ventilschaltwerk das Ventilhemmwerk erfunden; dieses wurde auch nicht einmal unmittelbar, sondern sehr mittelbar dadurch gefunden, daß man mit Papin die unter dem Kolben befindliche Luft oder deren für sie eingeführten Vertreter, den Dampf, auf physikalischem Wege beseitigte. Welche Stufenfolge man bis zum völligen Gelingen der Herstellung des Ventilhemmwerkes zu ersteigen hatte, haben wir gesehen; runde 100 Jahre gingen darüber hin. Erst dann gelangte man, ohne sich übrigens sofort die Ähnlichkeit klar zu

machen, dazu, das als Dampfhemmwerk ausgebildete Getriebe auch als Wasserhemmwerk zu benutzen, was in Reichenbachs Wassersäulenmaschine geschah. Um sich den ganzen Gang völlig klar zu machen, darf der Techniker sich nicht den Dampfschieber als Steuerungsmittel vor Augen schweben lassen, sondern muß festhalten, daß derselbe in seiner gewöhnlichen Form ein Gleitventil ist, welches vier verschiedene Gleitventile in einen Körper vereinigt an sich trägt. Diese Gleitventile traten an die Stelle der Hubventile. Bei Watts Dampfmaschinen waren bis zum Ende des Jahrhunderts die vier Ventile noch völlig getrennt und waren als Hubventile ausgeführt; diese zog Watt den Gleitventilen, die damals noch schlecht gelangen, vor. In unserer Jahrhunderthälfte, und zwar in den letzten 25 Jahren, hat man den Schieber wieder in seine vier Einzelstücke, die sehr häufig wieder in der Form von Hubventilen ausgeführt werden, aufgelöst.

Wir erkennen also in der Kolbendampfmaschine klar und deutlich ein Hemmwerk, insbesondere, wie wir angesichts der mittelst desselben übertragenen Kräfte sagen dürfen, ein Krafthemmwerk. Wir haben nämlich zu beachten, daß wir Hemmwerke mit einer so geringen Kraftübertragung, daß gerade nur alle Reibungen regelmäßig überwunden werden, auch schon lange im Gebrauch haben, in den Uhren. Hier ist der zu hemmende und wieder frei zu lassende Körper wieder ein gezahntes Stück, ein gezahntes Rad, das sogenannte Steigrad. Das Hemmwerk der Uhr ist gegenüber dem Krafthemmwerk ein Genauigkeitshemmwerk zu nennen. Im höchsten Grade bemerkenswert ist, daß die Hemmwerke der Uhren, die vielleicht schon vom Jahre 1000 ab in grober, plumper Form vorhanden waren, im 17. Jahrhundert unter Vorangang von Peter Henlein (Hele) weiter entwickelt wurden, von 1700 an neben der Dampfmaschine zu hoch gesteigerter Vollkommenheit gebracht wurden. Die Erfinder an beiden Stellen arbeiteten, ohne von einander zu wissen, nebeneinander am Hemmwerk, die einen am Genauigkeits-, die andern am Krafthemmwerk. Bei beiden klärten sich während des rastlosen Strebens nach der Lösung der ihnen vorschwebenden Aufgaben die Gedanken. Zwei Menschenalter gingen dahin, bis durch Watt der neue, helle Weg durch die Hindernisse geschlagen war, zwei Menschenalter auch, bis

durch Harrison im Jahre 1761 der schon um 1700 ausgesetzte Preis auf eine genaue Seeuhr errungen wurde. Diese Gleichheit und dieses Zusammentreffen sind nicht Zufall, obwohl in beiden Richtungen ohne gegenseitige Einwirkung gearbeitet ward, sondern bedeuten das allgemeinere Reifen menschlicher Denkvorgänge, die ja auch auf noch andern Gebieten gleichzeitig vorwärts drangen, bedeuten also Kulturentwickelung, die im großen Ganzen nie einseitig vor sich geht, sondern nach allen Seiten Triebe und Blüten zeitigt. Nur scheinbar für sich allein als Eingebung des Genius wurde die Dampfmaschine geboren; thatsächlich war ihre Erfindung in der Tiefe verwoben und durch sichtbare wie unsichtbare Fäden verbunden mit der Gesamtentwicklung des Zeitalters, welches sie uns brachte.

Sehen wir uns nunmehr Watts Dampfmaschine in der Durchschnittszeichnung, Fig. 17, noch einmal an, so erkennen wir in dem Cylinder *A* nebst Kolben *B* und Schieber *b* das eigentliche Hemmwerk, dem aus der Haltung Dampfkessel von *a* her der Betriebsdampf zuströmt. Die rechte Hälfte des kastenartigen Unterbaues bildet eine Haltung für das Kühlwasser, dessen Vorrat durch ein Schaltwerk, die Kaltwasserpumpe *q r*, stets wieder ergänzt wird. Aus dieser Haltung wird eine andere, die Tiefdruckhaltung *e*, genannt Kondensator, mit Wasser versorgt, das durch den Einspritzhahn *g* fortwährend zutritt und den aus *d* kommenden Abdampf niederschlägt. Ein zweites Schaltwerk, die Luftpumpe *hik*, entnimmt der Tiefdruckhaltung *e* das Einspritz- und Niederschlagswasser, sowie die demselben beigemengte Luft. *l* ist eine kleine Hülfshaltung, in welche die Luftpumpe ausgießt; aus *l* fließt die Hauptmasse des Wassers frei durch ein Rohr ab, ein kleiner Teil aber wird durch ein drittes Schaltwerk, die Speisepumpe *mnop*, abgezogen und zur Brindleyschen Haltung über dem Dampfkessel zurückgeschafft, durchschnittlich in der Menge, in welcher Wasser in Dampfform durch *a* zur Maschine gelangt war. *L* ist die Krafthaltung Schwungrad, welches seine Drehbewegung von dem Wagbalken her durch Pleuelstange *G* und Kurbel *HK* empfängt. *s* ist Gestänge zum Schieberbetrieb. In *yz* sehen wir als weitere Haltung den Gangregler, Watts „Hubstrecker“, der durch den Hebel *z* auf das bei *a* belegene Einlaßventil, die Drosselklappe, einwirkt; die Vorrichtung giebt und

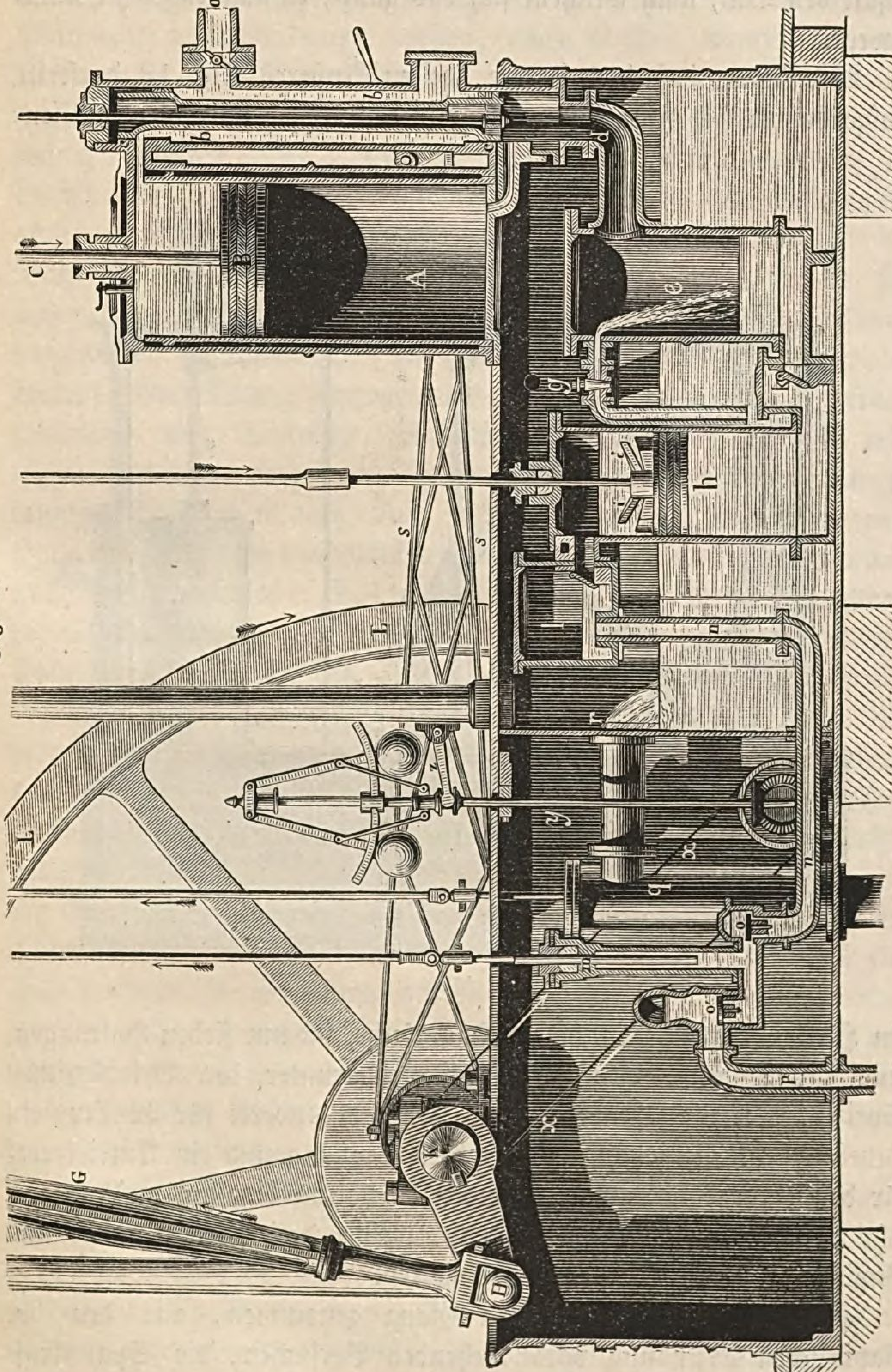
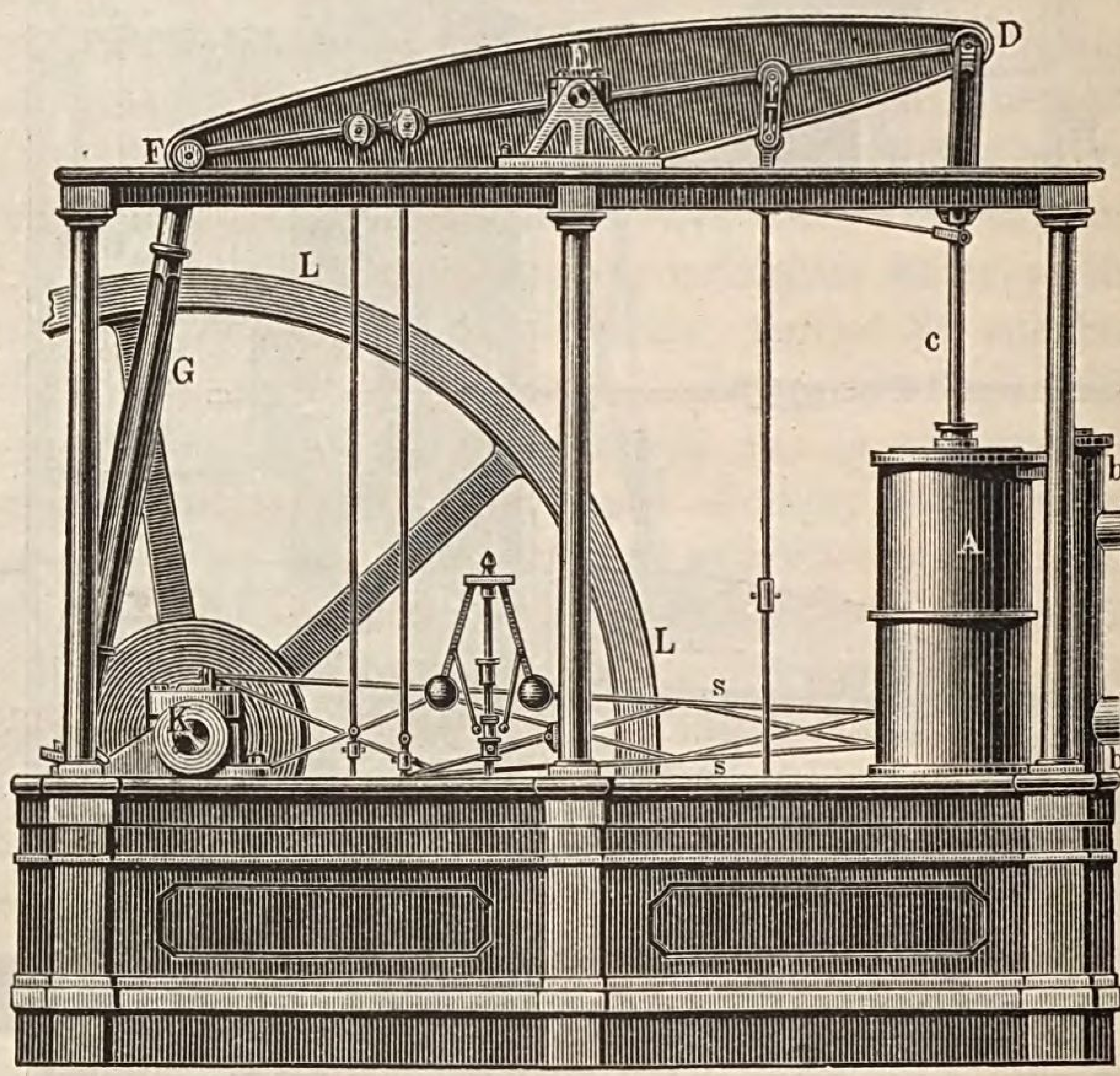


Fig. 17

erhält den Takt, nach welchem sich das ganze, zusammengesetzte Werk bewegt.

Wir sehen, daß das letztere, dessen Äußeres Fig. 18 darstellt, Folgendes in sich schließt, wobei wir den Kessel mitzählen müssen:

Fig. 18



ein Hemmwerk für Dampf als Hauptsache, sodann sieben Haltungen, eine für Dampf, vier für Wasser, darunter den Brindleyschen Speiser, zwei für lebendige Kraft, drei Schaltwerke für Wasser, ein Hebelwerk zur Umsetzung von Hub in Drehung und ein Antriebwerk für den Gangregler, alles zusammen die vollständige und auch an sich sehr vollkommene Maschine bildend, welche drei Menschenalter aus Papins „Kolbenröhre“ entwickelt hatten.

Hätte die Entwicklung den Gang genommen, aus den der Papinischen Erfindung vorausgehenden Versuchen, die Spannkraft des Dampfes als Betriebskraft zu verwerten, die Dampfmaschine zu

bilden, so hätte die Aufeinanderfolge eine ganz andere werden müssen. Man hätte zunächst lernen müssen, einen Kolben einzuschieben und diesen durch den Dampfdruck zu treiben. Um genügende Kraft gegenüber dem Luftdruck zu gewinnen, hätte man den Dampf stark spannen müssen. Mit andern Worten: man wäre zuerst auf die Hochdruckmaschine ohne Niederschlagung gekommen. An dieser hätte man erkannt, daß der Wärmeersparnis wegen die Dehnkraft des Dampfes auszunutzen gewesen wäre. Darauf würde man, da sich inzwischen die Entdeckung von der Niederschlagung und Leerebildung eingefunden haben müßte, das Niederschlagsverfahren als eine bedeutende Verbesserung hinzugenommen haben und so über die atmosphärische oder Wattische Maschine gleich hinausgekommen sein. Gegen 90 Jahre vergingen, ehe man zu den Anfängen hiervon gelangte. Wir sahen auch, daß Savery, der auf dem Wege zum Hochdruck war, den Gedanken verließ, indem er sich Newcomen und Cawley anschloß. So zeigt sich denn, daß die Vorausgänge, die wir in Abschnitt I betrachtet haben, nicht Vorboten des Neuen, sondern der Abschluß des absterbenden Alten waren. Das Ganze begreift sich aus dem Umstande, daß vom Wasserdampf selbst das Naturgesetzliche noch unentdeckt geblieben war. Papins Entdeckung von der Niederschlagung des Dampfes und die darangeschlossene Erfindung bildeten die ersten, zwar noch unsicheren, aber bedeutungsvollen Schritte. Mit der eigentlichen wissenschaftlichen Erkenntnis der Gesetze, zu des jungen Watts Zeiten, setzt denn auch die stärkere Entwickelung, das eigentliche kräftige Wachstum der Erfindung ein. Alle Versuche, die Erfindung auf Männer aus jener vorausgehenden Zeit zurückzuführen, ob sie auch dem nicht unedlen Wunsche entsprechen, einer bestimmten Nation die Ehre der Erfindung zu erwerben, müssen scheitern an der Unerbittlichkeit der einfachen Thatsachen, die wir kennen gelernt haben.

Die Wattische Dampfmaschine hat ein verhältnismäßig hohes Alter erreicht; erst gegen 1860 war ihr Geschlecht so ziemlich ausgestorben. Einzelne Überständer giebt es noch heute. Die Ausführungen von Boulton und Watt waren recht gut. Im Patentmuseum in London wurde 1885 eine Wattische Maschine ausgeliefert, nachdem sie genau 100 Jahre ihre treuen Dienste (in einer chemischen

Fabrik) gethan. Sie ist im Hebel- und Ständerwerk noch als Holzbau ausgeführt. Die gefällige Form des Eisenbaues in unserer vorigen Figur verdankt man außer Watt größtenteils dem hochbegabten Murdock, der um 1800 die Leitung der Fabrik in Soho als Watts Nachfolger übernahm. Watt hatte die Freude, seine Maschine in voller Entwickelung als anerkannt vorzügliche Kraftmaschine ringsum angewandt zu sehen*), bald auch auf dem Dampfschiff für Süß- wie Salzwasser. Ja auf dem Schiff hat sich die Wattische Maschine am allerzähesten gehalten, wesentlich auch in derselben Bauform, die Watt ihr gegeben. Nur für die Lokomotive war seine Maschine nicht anwendbar; da war gleich von Anfang an die Hochdruckmaschine ohne Dampfniederschlagung Meisterin geworden. Mit dieser Maschine haben wir uns nachher noch zu beschäftigen.

James Watt war kein duldender, leidender, sondern ein erfolgreich und glücklich wirkender Erfinder. Erst 1819 beendete er sein bedeutungsvolles, an geistiger Thätigkeit so reiches Leben. Sein geistiges Schaffen war von einer seltenen Vielseitigkeit; denn er beschäftigte sich nicht nur mit der Dampfmaschine, sondern er zählt unter die hervorragenden Entdecker auch in andern Wissensgebieten. So ist es z. B. zweifellos festgestellt, daß Watt die chemische Zusammensetzung des Wassers (aus Sauerstoff- und Wasserstoffgas) zuerst erkannt hat; er erfand das Bleichen mit Chlor; auch verdankt man ihm die Erfindung der theoretisch und praktisch so wertvollen Dampfheizung, und unter anderen kleineren mechanischen Vorrichtungen die allbekannte Briefkopierpresse (Patent von 1780). Watts Leben war ein glückliches und befriedigtes bis an seinen Tod, welcher 1819 am 25. August erfolgte. Sein Leben bildet den vollen Gegensatz zu Papins vom Mißgeschick verfolgtem Dasein. Daß Papin den grundlegenden, schöpferischen Gedanken zu der Maschine, die Watt ausbaute, gefaßt und auch verwirklicht hat, haben wir gesehen, aber auch wieviel er an der vollen Ausbildung des Gedankens zu thun

*) 46 Stück von zusammen 648 Pferdestärken vor 1800; bis 1805 waren in Soho allein weitere 113 von zusammen 1267 Pferdestärken erbaut worden.

noch übrig ließ. Sein Schwanken, seine Unsicherheit, denen zufolge auch auf seinem Bildnis in der Marburger Aula nicht die „Dampfröhre“, Fig. 8, sondern die Anlehnung an Savery, Fig. 10, abgebildet ist, schnitten ihm die großen Erfolge ab, zu denen er berechtigt gewesen wäre. Bei Watt müssen wir andrerseits auch anrechnen, daß zu seiner Zeit die praktisch gewordene Maschine Papins schon ein halbes Jahrhundert eingelebt war, und daß er mit neuer Wissenschaft an das schon fertige, gangbare, anerkannte Werk trat. So sind denn Watt und Papin Vertreter ganz verschiedener Zeiten und müssen mit verschiedenem Maßstab gemessen werden. Sie streiten nicht miteinander um das Erfindungsverdienst, sondern sie folgen einander darin. Watts Zeitgenossen haben ihm, nachdem sein Werk gelungen, die verdiente Anerkennung nicht versagt; sie haben empfunden, was er geleistet, indem sie in der Westminster-Abtei ein Denkmal errichteten für:

JAMES WATT

welcher die Kraft eines schöpferischen,
in wissenschaftlichen Forschungen früh geübten Geistes
wandte auf die Verbesserung der Dampfmaschine,
dadurch die Hülfsquellen seines Landes erweiterte,
die Kraft des Menschen vermehrte,
und sich zu einem hervorragenden Platze erhob
unter den berühmtesten Männern der Wissenschaft und den
wahren Wohlthätern der Welt.

Wollte man nun noch auf die Forscherwage legen, was die eine und andere Nation für die Schöpfung der Dampfmaschine geleistet, so müßte man sagen, daß Frankreich den Mann hervorgebracht, der den Gedanken faßte, Deutschland die Wiege des Gedankens gewesen und England ihn großgezogen. Wir können indessen hier den Erfindungsgedanken nicht trennen von der großen Entdeckung der Luftschwere durch Italiens Söhne, und sehen so, daß diejenigen Kulturvölker, welche überhaupt die neuere wissenschaftliche Mechanik geschaffen, Italien, Deutschland, Frankreich und England, auch der Welt das wichtigste der mechanischen Werke, die Dampfmaschine, geschenkt haben.

III. Weiterbildung

Der Grund, weshalb heute die treffliche Wattische Maschine verlassen ist, lag darin, daß ihre niedrige Dampfspannung zu große Druckflächen erfordert und daß höhere Dampfspannung auch eine bessere Ausnutzung der Wärme ermöglicht, indem man die Dehnkraft des Dampfes bei ihr in Anspruch nehmen kann. Die dahin gerichtete Umwandlung begann gegen Ende des vorigen Jahrhunderts. Man kann selbst bei mäßiger Spannung die Expansiv- oder Dehnkraft des Dampfes in der Maschine schon dadurch verwerten, daß man vor Schluß des Kolbenhubes den Dampfzutritt absperrt. Dies hatte schon Watt in den siebziger Jahren gethan. Man hoffte aber, bei höherer Dampfspannung bedeutend mehr Vorteil damit erreichen zu können. In dieser Absicht entwarf 1781 Hornblower eine zweicylindrige Dampfmaschine, in welcher der Dampf aus dem kleineren Cylinder, nachdem er dort unter Volldruck gewirkt, in den großen Nachbar trat, um seine Spannung unter bedeutender Dehnung abzugeben; Hornblower vermochte aber seine Maschine nicht einzuführen, da Boulton und Watt das Kondensatorpatent besaßen. Inzwischen nahmen die Vervollkommnungen der Maschine zu. 1797 führte Cartwright den Metallkolben ein, der einen trefflichen Verschluß auch bei höheren Dampfspannungen abgab. 1799 erfand Murdock den sogenannten *D*-Schieber (bei *b*, Fig. 17), welcher, wie oben gesagt, vier Ventile anderer Art in sich vereinigte und vor allem für die Kurbelmaschine von besonderer Wichtigkeit war. Von 1802 an begann sodann der Grundsatz der einfachen Hochdruckmaschine ohne Niederschlagung Verbreitung zu finden, zu welcher 1804 Murray den sogenannten Muschelschieber erfand. Man sagte sich, daß man die Niederschlagung des Dampfes unterlassen, die Maschine also um viele Teile einfacher werde bauen können, wenn man nur den Dampf höher spanne; den Wärmeverlust, den das Abblasen des unverdichteten Dampfes mit sich bringe, könne man wohl ertragen. Heute fügen wir noch hinzu, daß bei der Dampfniederschlagung ja auch Wärme verloren geht, die mit dem Niederschlagswasser abfließt. Bemerkenswert ist, daß auch Papin schon

auf den Gedanken der niederschlagslosen Maschine gekommen war, wie Leupold in seinem „Schauplatz der Maschinen“ 1724 mitteilt; seine angeblich in Ungarn durch einen gewissen Potter ausgeführte Maschine ging indessen einflußlos vorüber. In England waren seit 1802 Trevethick und Vivian, in Amerika seit 1795 Oliver Evans für die Einführung der sogenannten Hochdruckmaschine, wie man die niederschlagslose Maschine nannte und auch bis heute noch nennt, lebhaft thätig. Evans überschätzte die Brauchbarkeit des hochgespannten Dampfes, irre geleitet durch eine falsche Deutung der Dampfgesetze, bei weitem. Ähnlich ging es Arthur Woolf, der 1804 nach Erlöschung des Hornblowerschen Patentes die Zweicylindermaschine aufnahm.

Er ging von der Voraussetzung aus, daß bei ungeänderter Temperatur der Dampf von z. B. 40 Pfund Überdruck sich auf das 40fache seines Raumes ausdehnen könne, ohne seine Spannung unter eine Atmosphäre zu vermindern, während sich solcher Dampf in der That auf $^1/_{40}$ seiner anfänglichen Spannung, also auf einen Druck von $\frac{40 + 15}{40} = 1^3/_8$ Pfund über Null ausdehnen würde. Unter jener unrichtigen Annahme betrachtet, mußte Woolfs Maschine von ganz außerordentlichem Wert erscheinen; ihr wahrer Wert war aber schon groß genug, um ihr volle Anerkennung und Anwendung zu verschaffen. Lange hat die Zweicylindermaschine Woolfs Namen behalten, bis sie in neuerer Zeit, wo die Zahl der Cylinder, in welchen nacheinander die Dampfdehnung zur Wirkung gebracht wird, vergrößert, bis zu sechs getrieben worden ist, unter die von den Engländern Compound-, von uns Verbundmaschinen*) genannte Dampfmaschinenklasse gezählt wird.

Die Dampfmaschine erfuhr von da an, abgesehen von den weiter unten zu besprechenden Arbeiten der letzten Zeit, wesentlich nur in baulicher Beziehung, darin aber auch mannigfaltige Abänderungen. Die erste sogenannte rotierende Maschine, das will sagen: Kolben-

---

*) Das Wort „Verbund“, dessen Anwendung im vorliegenden und der ganzen Reihe ähnlicher Fälle von mir empfohlen wurde, ist nicht von mir neugebildet, sondern ist ein mittelhochdeutsches Wort, das nur aus unserm Sprachgedächtnis geschwunden war.

maschine, in welcher die Drehbewegung ohne Kurbel und Pleuelstange erzielt wird, schlug Watt schon 1784 vor, ohne übrigens Brauchbares mit ihr zu erreichen; die Vorschläge zu derselben haben, obgleich ihre Vorteilhaftigkeit nur in seltenen Fällen erweisbar ist, eine außerordentliche Zahl erreicht, ohne daß eine einzige Art sich eine Anerkennung in weiteren Kreisen hätte erringen können; dennoch taucht diese Maschine immer wieder aufs neue auf, in unsern Tagen abermals die Aufmerksamkeit auf sich lenkend wegen der Aufgaben der elektrischen Kraftübertragung. Die Maschine mit schwingendem Cylinder, schon von Watt vorgeschlagen, wurde zuerst von Manby 1817 (nach andern erst von Cavé 1824) gebaut.

Im Jahre 1807 bekam die Dampfmaschine eine bedeutsame und erfolgreiche neue Anwendung, nämlich die auf die Schiffahrt, nachdem Foulton das erste Dampfschiff in Neuyork vollendet hatte. Die Dampfschiffahrt dehnte sich rasch aus; in England von 1811, in Frankreich von 1816, auf dem Bodensee von 1822, auf dem Rhein von 1825 an, die transatlantische Dampfschiffahrt begann 1838, wo der Great-Western, von Brunel gebaut, die erste Fahrt von England nach Amerika machte.

Eine namentlich für die Seeschiffe wichtige Verbesserung haben die dreißiger Jahre gebracht in dem seit etwa 15 Jahren als völlig gelungen anzusehenden Oberflächenkondensator. Andere Abänderungen der mannigfaltigsten Art haben namentlich die Schraubenschiffe hervorgerufen, ohne indessen ganz neue Anordnungen zu schaffen. Die Einzelheiten und Ausrüstungsteile der Dampfmaschine und des Kessels haben bis in die neuesten Tage fortschreitende Verbesserungen erfahren, die nicht ohne wichtigen Einfluß auf die Güte und Brauchbarkeit der Maschinen geblieben sind.

Von 1814 an wurde die Dampfmaschine zum Eisenbahnbetrieb angewandt, indem damals Stephenson auf der Stockton-Darlingtonbahn den ersten brauchbaren Dampfwagen in Thätigkeit setzte. Das Jahr 1829 gab dem Lokomotivbau einen hohen Aufschwung, indem auf eine Preisaufgabe der Liverpool-Manchester-Bahn hin Stephenson eine Lokomotive, den „Rocket“ (Rakete) baute, welche bei 10 engl. Meilen Fahrgeschwindigkeit in der Stunde einen Zug von ihrem dreifachen Gewichte zog. Stephensons Maschine hatte die

von Séguin (nach anderen von Arzberger) zuerst angewandten Heizröhren bei dem Dampfkessel benutzt, die bis heute wegen ihrer wirklich hohen Vorzüge im allgemeinen Gebrauch geblieben sind.

Als eine bestimmte Richtung in der baulichen Entwicklung der Dampfmaschine wurde, nach des Amerikaners Sickles Anregung, etwa von 1850 ab mit immer steigendem Eifer die Gangregelung der Maschine durch selbstthätige Änderung des Dehnungsgrades betrieben. Man löste, wie schon oben erwähnt, den Schieber wieder in vier einzelne Ventile auf und bildete Getriebe aus, vermöge deren der Gangregler die beiden Einlaßventile je nach dem Kraftbedarf zu früherer oder späterer Schließung brachte. Corliß in Amerika trat zuerst mit einer sehr brauchbaren Lösung dieser Aufgabe auf und fand zahlreiche Nachfolger. Man ist aber in Erwartungen und in Ausführungsformen für diese Einrichtung zweifellos viel zu weit gegangen; deutsche Reichspatente für solche Steuerungen sind z. B. mehr als 500 erteilt worden. Deutlich ist jetzt wieder eine Rückkehr zu einfacheren Steuerungsvorrichtungen zu erkennen.

Bemerkenswert ist eine Bewegung unter den Dampfmaschinenbauern der neuesten Zeit, die dahin geht, den Kondensator mit seinem Zubehör für sich, gänzlich getrennt von dem Getriebe der Dampfmaschine herzustellen, sei es, daß man ihm zum Luftpumpenbetrieb eine besondere Dampfmaschine giebt, sei es, daß man die Kühlung des Abdampfes auf neue, auf die Mitwirkung der Luftpumpe verzichtende Weise bewirkte. Erwähnt sei der Oberflächenkondensator von Theisen mit umlaufenden Blechflächen, auf welchen unter Mitwirkung eines Fachrades Wasser verdunstet und dadurch Kühlung der Flächen erzielt wird, auch derjenige von Klein, in welchem durch natürlichen Luftzug dünne Wasserschichten zu demselben Zweck verdunstet werden. Das Wichtigste bei diesen und ähnlichen Einrichtungen ist, daß durch eine einzige Niederschlagsanlage, d. i. Tiefdruckhaltung, für mehrere Dampfmaschinen, ja für ganze Reihen von solchen, wie in Hüttenwerken, die Niederschlagung des Abdampfes bewirkt wird. Der Gedanke dringt durch, daß die Einbeziehung des Kondensators in die Maschine, die Verschmelzung desselben mit dem Treibwerk der Maschine nicht wesentlich war; beide sind ebensowenig aneinander gebunden wie Dampfkessel und Dampfmaschine, sie

können vereinigt werden, müssen aber nicht. Das hatte man schon länger bei den Speisepumpen erkannt und durchgeführt, indem man diese entweder als gesonderte „Dampfpumpen“, oder in der Form der Einspritzer oder Strahlpumpen von der Dampfmaschine, der sie dienten, ablöste. Nach diesen Ablösungen, nämlich derjenigen des Dampfkessels, des Kondensators, der Speisevorrichtung, bleibt das Hemmwerk, als welches wir die Maschine erkannt haben, in seiner ganzen Einfachheit, nur noch verbunden mit den Bewegungsübertragern, zurück, womit für die bauliche Herstellung der Maschine sehr viel gewonnen sein kann.

Wir sehen, daß die Hochdruckmaschine ohne Dampfniederschlagung die Maschine mit Niederschlagung nicht beseitigt hat; letztere hat aber den hohen Dampfdruck durchweg angenommen. Die Frage, ob mit oder ohne Niederschlagung gearbeitet werden soll, wird in jedem Falle besonders erwogen und nach praktischen Rücksichten in dem einen oder andern Sinne beantwortet.

Suchen wir jetzt zu erkennen, was der eigentliche Hauptzug der Wandlungen gewesen, die die Dampfmaschine erfuhr, als man die Wattische Form verließ, so bemerken wir, daß, abgesehen von den höchst wichtigen baulichen Vervollkommnungen, es der erhöhte Dampfdruck in erster Linie, der gelegentliche Verzicht auf die Dampfniederschlagung in zweiter Linie ist.

Zur Erhöhung der Dampfspannung sah man sich hingedrängt, sobald die Anforderungen an die Kraftleistung stiegen. Denn es lassen sich in der Raumeinheit des Kessels um so mehr Pferdestärken unterbringen (um es so auszudrücken), je höher die Dampfspannung gewählt wird; es handelte sich also darum, die Haltung, aus welcher die Triebkraft zu entnehmen war, bei demselben Fassungsraume stärker zu beladen. Deshalb sind wir neuerdings auf den Seedampfern, wo die Forderungen an die Maschinenleistung höher und höher gingen, zu 12, 15 bis 18 Atmosphären Dampfspannung gestiegen, wodurch erreicht wurde, daß das 10- bis 15fache der früheren Leistung der Raumeinheit des Kessels entzogen werden kann. Damit aber nun der hochgespannte Dampf, den wir der Haltung entnehmen, möglichst gut ausgenutzt werde, müssen wir ihn sehr stark ausdehnen, womöglich — vorausgesetzt, daß Niederschlagung stattfindet — noch

unter den Atmosphärendruck sich dehnen lassen. Daher ist denn die Verbundmaschine das nothwendige Zubehör zum hochgespannten Kessel, da es nur mit ihr gelingt, die gewaltige Dehnung des Dampfes praktisch gut durchzuführen. Das Verfahren der Expansionsdampfmaschine ist hiernach: die Haltung „Dampfkessel“ in den Volldruckraum des ersten Dampfcylinders der Verbundmaschine gleichsam fortzusetzen, und dann den Druck des Dampfes durch fortwährendes Dehnenlassen desselben an die Dampfkolben thunlichst abzugeben. Liegt nicht die Verbundmaschine vor, so muß die Dehnung im einzelnen Cylinder geschehen, wie es bei der überwiegenden Mehrzahl der Lokomotiven noch stattfindet. Auch da hat indessen das Verbundverfahren schon nennenswerte Schritte gemacht.

Der ganze mächtige Eisenbahnbetrieb beteiligt sich auch bis jetzt an dem Verzicht auf die Dampfniederschlagung, wodurch er die unentbehrlich scheinende Einfachheit im Bau seiner Betriebsmaschinen erreicht; nur bei einzelnen städtischen Dampfbahnen hat man sich entschließen müssen, die Tiefdruckhaltung allen Schwierigkeiten zum Trotz Kondensatoren anzubringen.

* *
*

Der Einfluß der Dampfmaschine auf die Industrie ist ein mächtiger gewesen; ja man kann fast sagen, daß der Begriff der industriellen Arbeit erst durch die Dampfmaschine geschaffen worden sei, denn der kleinartige Betrieb der vor 1700 bestehenden Hütten und Bergwerke, Mühlen, Webereien, Spinnereien und andern Anlagen unterscheidet diese im Wesen nur wenig von dem Handwerk. Unsere Maschine brachte zunächst in diese Gewerbe einen kräftigen Schwung, indem sie bei ihnen die Menschen-, Tier- oder Wasserkraft durch die Kraft des Dampfes ersetzte, und bei der Vergrößerung des Arbeitsvermögens, welche sie in sich trug, eine bedeutende Erhöhung der Leistungen sofort nach sich zog. Sodann schuf sie rückwirkend die arbeitenden Werkzeuge, welche durch die neue Kraft getrieben wurden, zu erhöhter Fähigkeit und Güte um. Und endlich rief dieses Vorbild in rascher Folge die Erfindung neuer

Arbeitsmaschinen hervor, die jetzt so an Wichtigkeit gewonnen haben, daß sie als eine Lebensnotwendigkeit der Völker betrachtet werden müssen, so namentlich die Spinnmaschinen für Baumwolle, Wolle, Seide und Flachs, die Webemaschinen für diese Faserstoffe, nebst dem ganzen Gefolge von arbeitenden Getrieben, welche bei der Fertigstellung der gewobenen Stoffe einzuwirken haben, ferner die Maschinen zur Bearbeitung der dem Hüttenbetriebe unterworfenen Rohstoffe, sowie diejenigen für die Bearbeitung der Metalle und endlich, um die Reihe der Beispiele nicht zu lang werden zu lassen, jene große Reihe von Maschinen, welche, ein fruchtbares Geschlecht, sich selbst und ihrer aller Erzeugerin, die Dampfmaschine, stets verjüngt und vervollkommnet wieder hervorbringen.

Ueberschaut man jetzt den Entwicklungsgang unserer Maschine, so sieht man, daß derselbe sich im Anfang nicht an einzelne Völker bindet, sondern mit den Keimen der neuen Wissenschaft verbunden unter den Gebildeten aller Länder seine Förderer findet. Sobald aber ein fester wissenschaftlicher Grundgedanke erworben ist, und nun die technische Frage mehr und mehr in den Vordergrund tritt, ist England das Land, in welchem mit einer erstaunlichen Tüchtigkeit und Rührigkeit die Greifbarmachung und Verwertung des neuen Gedankens betrieben wird. Mit gerechtem Stolze darf das englische Volk auf diese geschichtliche Thatsache blicken, in welcher es sich einen zweifellosen Anspruch auf allgemeine Anerkennung seines praktischen Sinnes erworben hat. Im Anfang hatte England beinahe ganz allein den Maschinenbau in seinen Händen. 1778 wurde in Frankreich durch Périer in Chaillot die erste Maschinenfabrik errichtet. Im Anfang dieses Jahrhunderts übertrug sodann der Engländer Cockerill den Maschinenbau nach Belgien durch Gründung der Fabrik in Seraing. Bald auch fing Deutschland an, seinen Bedarf an Dampfmaschinen mehr und mehr selbst zu beschaffen. Frankreich und Deutschland entwickelten von da an, dem voraneilenden England nacheifernd, den Dampfmaschinenbau mehr und mehr. 1825 gründete Cavé in Paris seine heute sehr bedeutende Maschinenbauanstalt, in welcher bis jetzt nicht weniger als ein Sechsteil aller in Frankreich bestehenden Dampfmaschinen gebaut worden sind. Auch Deutschland gewann nach und nach großartige Maschinenfabriken,

worunter die vorzugsweise dem Lokomotivbau gewidmete von Borsig in Berlin sich zu einer der ersten Stellen emporgeschwungen und dem deutschen Kunstfleiß eine weit über Deutschlands Grenzen gehende Anerkennung verschafft hat. Auch Amerika hat selbständige Schritte im Maschinenbaufache gethan, und sich dabei durch eine eigentümliche Auffassung der Bauweise bemerkbar gemacht, welche, in den tragenden Teilen sich aus dem Holzbau entwickelnd, ein ganz eigenartiges Gepräge behalten haben. Die wesentlichste und auffallendste Neuerung, welche die Amerikaner im Dampfmaschinenwesen eingeführt haben, ist in der schon erwähnten Corliß-Maschine enthalten.

Die andern Industrieländer Europas: Spanien, Italien, Norwegen, Dänemark und Rußland, haben sich noch keinen bestimmenden Einfluß im Maschinenbaufach erworben, sondern hängen noch mehr oder minder von den Nachbarländern ab; Schweden hat indessen eine einflußreiche Stellung bereits zu erringen gewußt, so daß vorzugsweise Mittel- und Westeuropa nebst Nordamerika von dem eigentlichen Schwung der Industrie erfaßt sind. Die Führerstelle, welche England darin bisher eingenommen, ist ihm mit Erfolg streitig gemacht worden. Deutschland hat sich in dieser Beziehung gänzlich unabhängig zu machen verstanden, augenscheinlich hat es sich die wissenschaftlichen Hilfsmittel in hohem Grade zu eigen gemacht. Möge nur Deutschland fortfahren, diese mächtige Waffe mehr und mehr zu schmieden und zu schwingen.

Die Folgen zu schildern, welche die Ausbildung der Industrie auf die Menschheit gehabt, fällt nicht innerhalb der Aufgabe dieses Abrisses; ihr Eingriff in das Weltgetriebe ist auch so ausgedehnt und verzweigt, daß sich nur schwer darüber eine sichere, vielleicht nicht einmal eine vollständige Übersicht gewinnen läßt. Das aber geht aus allem dem, was sich aus dem gärenden Gewirre der heraufbeschworenen gesellschaftlichen Umformung abzuklären imstande war, hervor, daß die Dampfmaschine mit ihrem Einfluß ein großer Segen, ein reiches Geschenk gewesen ist und bleiben wird, und daß entweder ein übergroßer Kleinmut oder eine absichtliche Verkennung der Umstände dazu gehört, um diese Wahrheit über dem unausbleiblichen Anhang gesellschaftlicher Mißstände zu übersehen oder gar ins Gegenteil verkehrt zu erblicken.

Haben wir bisher die Dampfmaschine in einer Entwicklungsrichtung betrachtet, in welcher sie hinsichtlich der Größe ihrer Kraftleistung unausgesetzt zunahm, so sind wir damit einer ihr innewohnenden Eigentümlichkeit gefolgt, derjenigen, daß der Einheitspreis für die entwickelte Arbeitsstärke um so geringer ausfällt, je mehr Kraft in einer und derselben Maschine erzeugt wird, wobei er sich einer Grenze nähert, von welcher wir, wie es scheint, noch immer um ein gewisses Maß entfernt sind. In der letzten Zeit hat sich aber auf dem Felde der Industrie die Überzeugung Bahn gebrochen, daß die gewerbliche Entwicklung nicht überall nach eben diesem Grundsatze voranzuschreiten habe, daß vielmehr für eine große Zahl von Fällen eine Kraftmaschine von geringer Leistung für gewerbliche Arbeiten ausreichen und dennoch großen Nutzen gewähren könne. Man hat einzusehen angefangen, daß der kleine Gewerbebetrieb durch die Einführung schwächerer Kraftmaschinen in seine Werkstätten sich sehr wesentlich stützen und heben lasse. Demzufolge hat man begonnen, Dampfmaschinen von geringer Kraftleistung, z. B. solche von $1/2$ bis 1 und 2 Pferdestärken, zu bauen und ihnen eine möglichst zweckmäßige Form bei geringem Preise zu geben. Neben den Dampfmaschinen haben sich bei diesem Bestreben andere Arten von Kraftmaschinen, die man mit den genannten zusammen als die Kleinkraftmaschinen bezeichnet, ausgebildet. Es sind zu nennen: die Wassersäulenmaschinen, die Heißluft-, die Gaskraft-, die Petroleumgasmaschinen. Die erstgenannten Maschinen gehören nicht hierher, obwohl ihr Mechanismus demjenigen der Dampfmaschine nahe verwandt ist. Wohl aber müssen die Gaskraftmaschinen hier erwähnt werden. Schon seit dem Jahre 1835 hat man sich mit denselben beschäftigt, wie die englischen Patenterläuterungen nachweisen. In die Industrie traten sie aber erst mit derjenigen Form ein, welche ihnen Lenoir (in Paris) gegen Ende der fünfziger Jahre gab. Dieselben arbeiten wie Hochdruckdampfmaschinen; statt des Dampfes wird ihnen aber ein Gemisch von ungefähr $1/10$ Leuchtgas und $9/10$ atmosphärischer Luft zugeführt und im Cylinder durch einen elektrischen Funken entzündet. Das verbrennende Gemenge nimmt eine hohe Spannung an und treibt den Kolben vor sich her, um am Schluß des Kolbenhubes, nachdem es sich stark gedehnt hat, abge-

lassen zu werden. Dieser Lenoirschen Maschine, welche eine beträchtliche Menge Kühlwasser zum Schutze der Cylinderwände gebraucht, folgte gegen 1866 die Hugonsche Gasmaschine. Hugon (in Paris) führt dem Gasgemische gleich nach dessen Entzündung mittelst einer Druckpumpe eine kleine Menge Wassers zu, welches durch die Hitze des verbrannten Gemisches alsbald in Dampf verwandelt wird; dieser äußert durch seine Dehnungswirkung Kraft und beseitigt zum Teil die schädliche Erhitzung des Cylinders. 1867 folgte eine dritte Form der Gasmaschine, diejenige von Langen & Otto in Köln. Bei dieser wird der Kolben durch das mittelst einer Gasflamme in Brand gesetzte und dabei verpuffende Gasgemenge in dem Cylinder, der senkrecht aufgestellt ist, in die Höhe geschleudert, woran ihn die Getriebeteile nicht behindern. Dabei entsteht hinter dem Kolben eine sehr beträchtliche Verdünnung, welcher zufolge der Luftdruck denselben kräftig abwärts zu treiben sucht. Indem aber das Getriebe der Maschine mit einem Gesperre versehen ist, welches den Abwärtsgang des Kolbens nur unter Herumbewegung der Schwungradwelle gestattet, wird letztere umgetrieben. Das Aufsteigen des Kolbens erfolgt in etwa dem vierten bis sechsten Teil der Zeit, welche auf das Niedergehen und Umtreiben der Schwungradwelle verwendet wird; während des Aufwärtsfliegens unterhält die lebendige Kraft des Schwungrades die Dehnung. Die Ähnlichkeit der Bewegungsvermittelung mit der von Papin für seine Erstlingsmaschine oben beschriebenen, muß auffallen. Es ist, als ob sich die ganze Gedankenreihe von damals wiederholte. Und nun folgt auch, wie bei der Dampfmaschine des vorigen Jahrhunderts, der Übergang vom Gesperrgetriebe zum Kurbelgetriebe. Denn die atmosphärische Gaskraftmaschine wird von der Firma (jetzt Deutzer Gasmotorenfabrik) heute nicht mehr gebaut; an ihre Stelle hat sie den sogenannten geräuschlosen Ottoschen Gasmotor treten lassen, welcher mit Hochdruck arbeitet. Derselbe wirkt in Perioden von zwei ganzen oder vier halben Spielen des Kolbens, wobei der letztere wie früher an einer Seite stets dem Luftdruck ausgesetzt ist. Der Cylinder liegt meist wagerecht. Bei dem ersten halben Kolbenspiel wird Luft und Gas hinter den Kolben gesaugt, beim zweiten das Gemenge auf zwei oder mehr Atmosphären zusammengepreßt, darauf das Ge-

menge entzündet und beim dritten halben Spiel zum Ausdehnen gebracht; beim vierten treibt der Kolben die Verbrennungsrückstände bis auf einen gewissen Rest aus. Diese Rückstände bilden zusammen mit dem beim Beginn der neuen Periode angesaugten verpuffbaren Gemenge die Cylinderfüllung. Ein sehr schneller Gang trägt dazu bei, die Wärmeverluste herabzuziehen und gestattet es, mit verhältnismäßig kleinen Cylinderabmessungen auszureichen, trotzdem nur je das vierte halbe Kolbenspiel für die Kraftabgabe nutzbar gemacht wird. Der Ottosche Gasmotor steht zur Zeit an der Spitze der Kleinmotoren; man hat aber bereits begonnen, ihn auch für größere Kraftleistungen — bis 100 Pferdestärken und darüber — nutzbar zu machen. Als Haltung für das Betriebsgas dient der Gaskraftmaschine der „Gasometer“ der Beleuchtungsanlagen.

Andere Bauarten der Gaskraftmaschine unerörtert lassend, habe ich hervorzuheben, daß dieselben den Grundgedanken der Dampfmaschine in wesentlichen Punkten teilen, ja zu einem Bruchteil wirkliche Dampfmaschinen sind. Das Gemisch aus Leuchtgas und Luft nämlich, welches in ihnen zur Verbrennung kommt, bildet vermöge der letzteren Wasser in Form von Dampf, welcher mit Dehnkraft arbeitet. Die übrigen Gase, Kohlensäure und Kohlenoxydgas werden durch die hohe Verbrennungswärme ebenfalls beträchtlich gedehnt. Ihre Wirkung ist bei den meisten Gasmotoren derjenigen des Dampfes überlegen.

Erstarkt auf dem ihr außerordentlich zusagenden Gebiete der kleinen Kräfte sehen wir jetzt die Gasmaschine auch für große Kräfte mit der Dampfmaschine in Wettbewerb treten. Es hat den Anschein, als könne sie einen großen Teil des Feldes gewinnen.

IV. Erfolge

Nun wir am Ende unseres geschichtlichen Abrisses stehen, drängt sich leicht die Frage auf: Was hat man mit unserm Dampfmaschinenbau an Kraftleistung erreicht, und wie steht diese Leistung im Verhältnis zu den aufgebotenen Mitteln, d. h. wie verwerten wir bei der Dampferzeugung und -benutzung unsere Brennstoffe? Einige Zahlenangaben werden geeignet sein, diese Fragen übersichtlich zu beantworten.

Die Größe der Dampfmaschinen ist nach und nach sehr gesteigert worden. Während man es anfangs für etwas Ungeheures hielt, eine Maschine von 100 Pferdestärken zu bauen, wundert man sich heute gar nicht mehr über 400- bis 500pferdige Dampfmaschinen, namentlich seit die Seedampfer, für Krieg wie Frieden, mit Dampfmaschinen bis zu 10 000 Pferdestärken und darüber ausgerüstet werden. Die Verbundmaschine kommt dabei fast ausschließlich zur Verwendung, die Kesselheizung geschieht mit künstlichem Luftzug.

Unter den Landdampfmaschinen bekommen namentlich die Wasserhaltungsmaschinen sehr große Cylinder, wenn sie eine bedeutende Leistung entwickeln sollen, da sie meist nur einfachwirkend sind und keine große Kolbengeschwindigkeit haben. Die Grube Bleiberg bei Moresnet in Belgien weist zwei in Seraing gebaute Pumpmaschinen auf, welche 105 Zoll Cylinderdurchmesser bei 10 Fuß Hub haben, und mit Dampf von $3^1/_2$ Atmosphären, der sich vier- bis fünffach dehnt, arbeiten; die zugehörigen Schachtpumpen haben 1 *m* Durchmesser. Sehr bemerkenswerte Pumpwerke wurden zur Trockenlegung des Harlemer Meeres gebraucht. Zu diesem großartigen Unternehmen, das sich einer Reihe der bedeutendsten Entwässerungsarbeiten der Holländer anschließt, wurden drei Dampfmaschinen, der „Leeghwater“, der „Cruquius“ und der „Lynden“ (so benannt nach den drei berühmtesten Ingenieuren, welche in verschiedenen Zeiten Pläne für das große Unternehmen ausgearbeitet hatten), gebraucht. Dieselben haben ineinander stehende Verbundcylinder von 12 und 7 Fuß Durchmesser; jede der drei Maschinen arbeitet mit 350 bis 500 Pferdestärken (je nach dem Dehnungsgrade) und hebt auf den Kolbenhub mittelst Pumpen von 10 Fuß Hub bei 63 und 73 Zoll Durchmesser 66 *cbm* Wasser durchschnittlich 16 Fuß hoch. Man begann die Arbeiten 1842 und beendigte sie 1852; es wurden rund 45 000 Acker Land trocken gelegt, wovon 1847 schon 17 000, mit einer Bevölkerung von über 5000 Seelen, unter Anbau lagen. Die Maschinen schafften im ganzen etwa 800 Millionen Kubikmeter oder Tonnen Wasser weg.

Eine mächtige Steigerung in der Stärke einzelner Dampfmaschinen hat uns das rasch wachsende elektrische Beleuchtungswesen gebracht. Maschinen von 3000 Pferdestärken sind hier keine Selten-

heit mehr. Verbund ist durchweg bei ihnen angewandt, dabei auch beträchtliche Kolbenschnelle, so daß die Cylinder lange nicht so groß zu sein brauchen, als die der zehnmal schwächeren Wasserhaltungsmaschinen vorbeschriebener Art.

Die erstaunliche Stärke der genannten einzelnen Maschinen läßt erwarten, daß die Gesamtstärke der auf der Erde thätigen Dampfmaschinen sehr bedeutend ist. In verschiedenen Ländern ist die Zahl der in Benutzung gezogenen Dampfmaschinen statistisch erhoben, teilweise mit einer Vollständigkeit, welche einen wertvollen Überblick ermöglicht. Die Entwickelung der preußischen Industrie in dieser Beziehung bis 1878 zeigt folgende, gewiß lehrreiche Zusammenstellung:

Jahr	Landmasch.	Pferdestärken	Schiffsmasch.	Pferdestärken	Lokomotiven	Pferdestärken	Überhaupt Maschinen	Überhaupt Pferdestärken
1837	419	3356	4	158	—	—	423	7514
1840	615	11713	6	226	13	340	634	12279
1843	862	16496	79	3869	149	6867	1090	27241
1846	1139	21716	77	4737	275	14677	1491	41130
1849	1445	29483	90	9319	429	28348	1964	67150
1852	2124	43049	102	9232	607	40191	2833	92476
1855	3049	61945	123	10907	913	88922	4085	161774
1861	7026	141841	203	16646	1456	207144	8685	365631
1878	29895	887780*)	609	50309**)	6816	1953778	37320	2891867

Bei der Zählung von 1878 sind die neuen Provinzen mitgezählt. Diese Erhebung ist mit außerordentlicher Sorgfalt vorgenommen und verarbeitet worden, so daß sie eine Menge bemerkenswerter Aufschlüsse giebt. In den Zahlen spiegelt sich ein mächtiger

*) 5536 Lokomobilen, von denen 3853 auf Rädern, zusammen mit 47 104 Pferdestärken, sind hierbei nicht mitgerechnet.

**) Hierzu würde noch die Kriegsflotte mit über 90 Schiffen kommen, deren Maschinen zusammen gegen 180 000 Pferdestärken haben. 1890 betrug die Zahl nur 78 mit 188 390 Pferdestärken.

Aufschwung unsres Dampfkraftverbrauches, d. i. unsrer Industrie. Nahezu die Hälfte der 29895 Landdampfmaschinen, nämlich 13659 Stück, sind erst nach 1870 erbaut; ähnliches gilt von den Lokomotiven. Höchst lehrreich ist die Verteilung der Dampfkraft auf die verschiedenen Gewerbszweige. Es kamen auf:

		Pferdestärken
1.	Land- und Forstwirtschaft, Weinbau-Gärtnerei	3683
2.	Bergbau, Hütten- und Salinenwesen . . .	508357
3.	Industrie der Steine und Erden	24107
4.	Metallverarbeitung	22544
5.	Industrie der Maschinen, Werkzeuge u. Apparate	20499
6.	Chemische Industrie	10415
7.	Industrie der Heiz- und Leuchtstoffe . . .	6727
8.	Faserstoffindustrie	87147
9.	Papier- und Lederindustrie	24569
10.	Industrie der Holz- und Schnitzstoffe . . .	22907
11.	Industrie der Nahrungs- und Genußmittel .	110018
12.	Industrie der Bekleidung und Reinigung . .	2358
13.	Baugewerbe	786
14.	Druckerei-Gewerbe	1471
15.	Künstlerische Betriebe für gewerbliche Zwecke .	52
16.	Handelsgewerbe	268
17.	Verkehrsgewerbe ausschl. Schiffsdampfmaschinen	2969
18.	Beherbergung und Erquickung	6
19.	Häusliche Zwecke	922
20.	Maschinenbauanstalten mit Eisengießerei u. s. w. (gemischt aus 7, 8 bezw. 1, 7, 8) . . .	26827
21.	Dünger- und Leimfabriken (gemischt aus 9, 10)	399
22.	Mühlenverbindungen (gemischt aus 10, 13, 14)	5159
23.	Andere gemischte Gewerbe	5563
	Zusammen	887780

Gegen $^5/_8$ der Kraft unserer Landdampfmaschinen gehen auf die Beschaffung und Vorbereitung der Rohstoffe, nahe 70000 Pferdestärken auf Metallverarbeitung und Maschinenbau, über 87000 aber auf die Bearbeitung der Faserstoffe.

Seit 1878 hat abermals eine gewaltige Zunahme der Dampfverwendung in Preußen stattgehabt. Man zählte für Beginn 1891:

Land-Dampf			Bewegliche Dampfmaschinen	Pferdestärken	Schiffs-Dampf		
Kessel	Maschinen	Pferdestärken			Kessel	Maschinen	Pferdestärken
49914	48440	1718281	13769	128130	2115	2216	197903

Ganz auffallend ist das Gesamtwachstum der preußischen Industrie, soweit es die Dampfkraft betrifft; die letzten Zahlen zeigen, daß der Kraftverbrauch von 1849 bis 1891, in 42 Jahren, wenn man absieht von den Beförderungsmaschinen zu Wasser und zu Land, sich mehr als versechzigfacht hat.

In den Jahren 1877 bis 1878 ist auch für das übrige Deutschland die Dampfstatistik aufgemacht worden; die Entwickelung ist der preußischen mehr oder weniger parallel gegangen. Folgende Hauptziffern geben einen Überblick. Die Zählung ergab für das Deutsche Reich:

		Kessel	Maschinen	Pferdestärken
a) Feststehende Dampfkessel		49 511	—	—
b) Bewegliche „		9 164	—	—
c) Feststehende Dampfmaschinen		—	44 447	1 247 000
d) Bewegliche „		—	9 085	73 647
e) Privatdampfschiffe	1 073	1 462	1 099	179 280
f) Kriegsdampfschiffe*)	92	280	141	151 260
g) Lokomotiven		10 398	10 398	2 859 450
	1 165	70 815	65 170	4 510 637

Hinsichtlich der Lokomotiven in Preußen sind wir sehr vollständig unterrichtet. Über die im preußischen Staate auf sämtlichen Eisenbahnen im wirklichen Betriebe befindlichen Lokomotiven geben folgende Zahlen Aufschluß:

*) Gilt für 1880.

Jahr	Zahl der Lokomotiven	Pferdestärken zusammen	Durchschnittliche Stärke der einzelnen Lokomotive
1869	3251	878652	270
1871	3884	1092697	281
1872	4327	1237224	286
1873	5152	1482075	288
1876	6655	1936393	291
1879	7084	2056170	290

Für das Deutsche Reich gelten folgende Werte:

1889	13105	3800450	290
1890	13496	3913840	290

Die außerordentlich rasche Zunahme der Zahl wie der Gesamtstärke der Lokomotiven geht aus der Zusammenstellung klar hervor, sowie auch die bemerkenswerte Thatsache, daß wir die Stärke der einzelnen Lokomotive allmählich gesteigert haben. Letzteres wird besonders deutlich, wenn man einige der weiter oben gemachten Angaben mit vergleicht. Danach betrug die durchschnittliche Stärke der einzelnen Lokomotive:

1849	1852	1855
66	66	96 Pferdestärken,

die einzelne Lokomotive machen wir also heute nahezu $4^1/_2$ mal so stark als vor 40 Jahren.

Nach Vorstehendem ergäbe sich für die Fahrgewerbe, zu Wasser und Land, für Preußen ein Dampfkraftaufwand von über vier Millionen Pferdestärken, gegen nicht ganz zwei Millionen für die übrigen Gewerbe. Man darf aber deshalb nicht annehmen, daß die Lastenbewegung oder das Fahrgewerbe den überwiegenden Teil des Dampfverbrauchs beanspruche, weil namentlich die Lokomotiven wegen ihrer starken Beanspruchung durchschnittlich nur einen Bruchteil des Tages Dienst thun können. Man wird nicht sehr irren, wenn man auf die beiden Gewerbebetriebsarten die wirklich geleistete Dampfarbeit gleich verteilt, beidemal rund zwei Millionen Pferdestärken zur Zeit annimmt.

In Frankreich zählte man 1869:

Landmasch.	Pferdestärken	Schiffsmasch.	Pferdestärken	Lokomotiven	Pferdestärken	Überhaupt	
						Maschinen	Pferdestärken
27041	325507	917	62827	4933	1331910 *)	32891	1720244

Für England werden folgende Zahlen, welche teils für 1870, teils 1871 und 1872 gelten, gegeben:

Landmasch.	Pferdestärken	Schiffsmasch.	Pferdestärken	Lokomotiven	Pferdestärken	Überhaupt	
						Maschinen	Pferdestärken
40000	936405	3061	524862	9379	1875000	52440	3336267

Endlich seien noch die Vereinigten Staaten angeführt, für welche die Zahlen teils 1870, teils 1873 erhoben sind, und die eine auffallende Ähnlichkeit mit denen Englands zeigen:

Landmasch.	Pferdestärken	Schiffsmasch.	Pferdestärken	Lokomotiven	Pferdestärken	Überhaupt	
						Maschinen	Pferdestärken
40191	1215711	403	96608	12530	2506000	53124	3818319

Die Gesamtzahl der Lokomotiven, welche in allen Ländern der Erde zusammengenommen im Betriebe sind, wird jetzt (1891) auf rund 120 000, mit einer Gesamtkraft von mindestens 30 Millionen

*) Die Angabe der Stärke der einzelnen Lokomotive fehlt in unserer Quelle; hier wurde die für Preußen 1869 ermittelte Zahl 270 als auch für Frankreich gültig angenommen.

Pferdestärken zu schätzen sein, von denen aber, wie oben, höchstens die Hälfte als regelmäßig thätig anzusehen ist.

Was die Stärkeangaben der Landdampfmaschinen überhaupt angeht, so sind dieselben nicht als sicher anzusehen. Bloße Schätzungswerte und Angaben der sogenannten nominellen Stärken sind mit solchen gemischt, welche durch Messung erzielt sind. Überhaupt sind die statistischen Erhebungen auf diesem Gebiete mit ganz bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft und Beobachtungsfehlern von bedeutender Größe ausgesetzt. Während nach den vor 30 Jahren vorliegenden Zusammenstellungen in dieser Schrift schon damals die Gesamtstärke aller Dampfmaschinen der Erde auf 15 bis 20 Millionen Pferdestärken angegeben werden mußte, führen die inzwischen gemachten Berechnungen dazu, erst heute die Zahl von 20 bis 25 Millionen als der Wahrheit nahe kommend anzusehen. Diese Summe ist immerhin kolossal. Auf den ersten Blick fällt es uns indessen schwer, uns eine deutliche Vorstellung von ihrer Größe zu machen. Einige Vergleiche mögen einen Maßstab an die Hand geben.

Nimmt man an, der Rhein habe seiner ganzen Erstreckung vom Bodensee bis zum Meere nach die am Oberrhein sich zeigende mittlere Wassermenge von 4000 Kubikfuß in der Sekunde, so ergiebt sich, da der Bodenseespiegel ungefähr 1200 Fuß über dem Meere liegt, als gesamte Arbeitsstärke des Rheinstroms vom Bodensee zum Meere die Zahl von 620000 Pferdestärken, d. i. etwa $^1/_{40}$ der heutigen Gesamtstärke aller Dampfmaschinen der Erde. Ungleich mächtiger aber ist an einer einzigen kurzen Stelle der Niagara. Der Niagarafall selbst hat eine Höhe von 133 Fuß, die sich mehrere englische Meilen stromauf erstreckenden Stromschnellen ein Gefälle von 200 Fuß, so daß im ganzen die riesige, nach angestellten Berechnungen im Mittel stündlich 33 Millionen Kubikmeter oder Tonnen betragende Wassermasse des Stromes dort 333 Fuß oder $101^1/_4$ Meter hoch hinunterstürzt. Die Arbeitsstärke des Gefälles berechnet sich nach diesen Zahlen zu $12^1/_2$ Millionen Pferdestärken, d. i. etwa die Hälfte der Stärke sämtlicher irdischen Dampfmaschinen. So würde also der Niagarafall, wenn man ihn mit 50 Prozent ausnutzen könnte, etwa $^1/_4$ soviel leisten, als alle Dampfmaschinen der Erde, wenn sie Tag und Nacht thätig wären; oder umgekehrt,

alle Dampfmaschinen der Erde würden, um den Niagarafall geschart, bei etwa 20stündiger täglicher Arbeit eben imstande sein, dessen Wassersturz wieder auf die Höhe der Stromschnellen zu schaffen. Und doch, einen wie kleinen Teil des atmosphärischen Niederschlages führt der Niagarastrom dem Meere zu. Der letztere läßt sich annähernd wie folgt berechnen.

Die mittlere jährliche Regenmenge beträgt in Archangel 20 Zoll, in den heißen Zonen 100 Zoll, im Mittel also etwa 5 Fuß. Man nimmt nun an, daß die mittlere Regenfallhöhe etwa 900 Fuß betrage; hiernach berechnet sich die durchschnittliche Arbeitsstärke des Regens für die Geviertmeile zu:

$$\frac{24\,000^2 \,.\, 5 \,.\, 62 \,.\, 900}{365 \,.\, 24 \,.\, 60 \,.\, 60 \,.\, 480} = \text{nahe } 10\,600 \text{ Pferdestärken.}$$

Dies giebt als Arbeitsstärke des ganzen atmosphärischen Niederschlages, also der verdunstenden Wirkung der Sonnenstrahlen auf das gesamte Wasser der Erde, da letztere ungefähr 9 280 000 Quadratmeilen Oberfläche hat, eine Arbeitsstärke von

$$9\,280\,000 \,.\, 10\,600 = 98\,368 \text{ oder in runder Zahl}$$
$$100\,000 \text{ Millionen Pferdestärken.}$$

Beschämt treten wir zurück vor dem Wagnis, die von Menschenkunst in Wirkung gesetzten Kräfte zu vergleichen mit denjenigen der Natur. Denn ein mittelgroßer Strom zeigt schon eine Stärke, die ein merklicher Teil derjenigen aller unserer Dampfmaschinen ist; der einzige mächtige Niagarafall erreicht nahe unsere Anstrengungen, ist selbst aber wiederum bedeutungslos gegen die Vollgewalt des atmosphärischen Niederschlages, der die Gesamtanstrengung aller unserer Dampfmaschinen über 4000 mal übertrifft, er selbst darstellend den auf Wasserhebung verwendeten Teil der Besonnung der Erdoberfläche.

War der Vergleich mit den Naturgewalten anmaßend, so giebt es einen andern, der unser Selbstbewußtsein wieder zu heben imstande ist, der Vergleich nämlich mit dem Arbeitsvermögen der Menschenhände. Wenn von den 1500 Millionen Menschen, welche die Erde bewohnen sollen, alle arbeitsfähigen starken Männer ausgewählt würden, so erhielte man im allergünstigsten Falle etwa $^7/_{100}$ der

obigen Zahl an Arbeitern. Ließe man diese 12 Stunden täglich angestrengt arbeiten, so würden sie, die Pferdestärke zu sechs Menschenstärken angenommen, eine Arbeitsstärke von $^{105}/_{6}$ oder nahe 17 Mill. Pferdestärken darstellen, das ist etwas weniger, als unsere Dampfmaschinen leisten können. In Wirklichkeit arbeitet aber nicht $^{1}/_{10}$ jener Menschenzahl gewerblich, so daß man sieht, daß wir mit den Dampfmaschinen die wirklich geleistete mechanische Arbeit aller Menschen sehr weit überholt haben, und auch die mögliche Leistung derselben bald weit hinter uns lassen werden, da die Zahl der in Thätigkeit kommenden Dampfmaschinen reißend zunimmt.

Von hohem Belang ist nun die Frage, in welchem Grade wir das Arbeitsvermögen unserer Brennstoffe, also vorzugsweise der Steinkohlen, ausnutzen. In Cornwallis ist es gebräuchlich, die Leistung der Wasserhaltungsmaschinen durch Angabe der Gewichtsmenge Wassers auszudrücken, welche die Maschine bei Verbrennung eines Bushels (84 bis 88 Pfd.) Steinkohlen 1 Fuß hoch hebt. Die Größe und allmähliche Zunahme der Wirksamkeit der Dampfmaschinen ergiebt sich aus folgender Zusammenstellung.

Mit 1 Bushel Steinkohlen hob:

die Saverysche Maschine	1 000	Tonnen	1	Fuß	hoch
die Newcomensche Maschine . . .	3 500	„	1	„	„
die erste Wattische Maschine . . .	6 000	„	1	„	„
die doppeltwirkende Maschine . . .	10 000	„	1	„	„
die vollendete Wattische Maschine .	15 000	„	1	„	„
bei größerer Sorgfalt . . .	21 000	„	1	„	„
die kornischen Maschinen	41 000	„	1	„	„
	bis 56 000	„	1	„	„

Heben wir hiervon die beste Leistung, die der vorzüglichsten kornischen Maschinen heraus, und führen die Leistung auf 1 Pfund Steinkohle zurück, so ergiebt sich für das Pfund Kohle eine Leistung gleich der Erhebung von 650 Tonnen auf 1 Fuß Höhe, d. i. die Tonne zu 2000 Pfund genommen 1 300 000 Fußpfund. Nun vermag aber ein Pfund Steinkohle 6000 bis 7000 Wärmeeinheiten bei der Verbrennung zu entwickeln, und es giebt, wie theoretische Nachweise und die schärfsten Versuche zeigen, jede Wärmeeinheit, wenn keine Verluste stattfinden, eine Arbeit von etwa 424 Kilo-

grammeter, oder auf preußisches Maß übertragen, nahe 2700 Fußpfund aus. Demnach würde 1 Pfund Steinkohle theoretisch wenigstens 6000 . 2700 = 16 200 000 Fußpfund Arbeitsvermögen enthalten. Es betrüge mithin der Wirkungsgrad unserer allerbesten Dampfmaschinen, die obigen Angaben als richtig vorausgesetzt, nur $^{13}/_{162}$ oder nicht ganz 7 Prozent. Die Saverysche Maschine gab hiervon sogar nur den 56sten Teil, mithin nicht ganz $^1/_8$ Prozent Nutzleistung.

Wie indessen schon angedeutet, haben die neueren Fortschritte im Dampfmaschinenbau, namentlich vermöge der hohen Ausnutzung des Dampfes in den Verbundmaschinen, die Leistungen der einst obenanstehenden kornischen Maschinen noch beträchtlich überholt. Trotz der nötig gewordenen Kraftaufwendungen für verbesserten Luftzug, für günstigeren Kondensatorbetrieb, für Vorwärmung von Speisewasser und Zugluft u. s. w. ist bei größeren Dampfmaschinen die Ausnutzung des Wärmeaufwandes auf 12 Proz. und darüber, man kann sagen bis rund auf $^1/_8$ gestiegen.

Diese Errungenschaft ist verhältnismäßig außerordentlich groß. Wir sehen aber doch, daß unsere heutigen Dampfmaschinen, selbst auf der höchsten Vollkommenheitsstufe, das eigentliche Arbeitsvermögen des Brennstoffes immerhin noch unvollkommen ausnutzen. Da nun der Fortschritt von der Saveryschen bis zur heutigen Verbundmaschine so hochbedeutend gewesen ist, nämlich die Nutzleistung beinahe verhundertfacht hat, scheint es, daß man hoffen dürfe, die Dampfmaschine auf jenen Wirkungsgrad zu bringen, den man bei den übrigen Kraftmaschinen gut erreicht, auf $^3/_4$ nämlich, was einer Verbesserung auf das Fünf- bis Sechsfache entspräche. So hoch nun läßt sich der Wirkungsgrad der Dampfmaschine nie treiben, da die unumgängliche Erwärmung des Brennstoffes bis zur Entzündung eine große Menge Wärme erfordert und namentlich noch der andere ganz unvermeidliche Wärmeverlust stattfindet, den die Überführung des Wassers aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand bedingt. Schon Watt erblickte mit seinem Scharfsinn hierin einen Hauptgrund dafür, daß die Dampfmaschine über eine gewisse Grenze der Leistungsfähigkeit nicht hinauskommen könne. Und das trifft noch heute zu, wenn man nicht ihre ausgezeichnetsten Eigenschaften in der Einfachheit von Bau

und Wartung aufgeben will. Das aber hat man wissenschaftlich nachgewiesen, daß sich die Nutzwirkung wohl noch steigern, vielleicht auf das Doppelte ihres jetzigen günstigsten Wertes, sollte bringen lassen, und wir dürfen in der That hoffen, daß man es zu dieser oder einer angenäherten Verbesserung oder eigentlich Umgestaltung der Dampfmaschine werde bringen können. Ja es hat den Anschein, als ob es noch vor der Wende des Jahrhunderts gelingen sollte, beträchtliche Schritte in dieser Richtung thun zu sehen. Somit wird die Dampfmaschine wohl auch ihr zweites Lebensjahrhundert noch in aller Vollkraft zu Ende führen als ein durch Scharfsinn und Ausdauer der Kulturvölker erworbenes Mittel, aus der Wärme, der überhaupt alles Leben verdankt wird, dem Menschengeschlecht Erleichterung und Erhebung seines Daseins zuzuführen.